



Joana Raquel Farias Roseiro

Licenciada em Ciências de Engenharia Civil

**CAUSAS, ANOMALIAS E SOLUÇÕES DE
REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS ANTIGOS
Estudo de caso**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Fernando Farinha da Silva Pinho, Prof. Doutor, Faculdade
de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-Orientador: Pedro Lopes Barata David Ribeiro, Engenheiro Civil,
A2P Consult, Estudos e Projectos Lda.

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Manuel dos Anjos Henriques

Arguente: Prof. Doutor Válder José da Guia Lúcio

Vogal: Prof. Doutor Fernando Farinha da Silva Pinho

Vogal: Engenheiro Pedro Lopes David Ribeiro



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro de 2012

“Copyright” Joana Raquel Farias Roseiro, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*Aos meus Pais e Mano,
que estiveram sempre presentes com todo o carinho e dedicação ao longo da minha vida...*

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui o meu agradecimento a todos aqueles que contribuíram, directa ou indirectamente, para o desenvolvimento deste trabalho.

Em particular congratulo o meu orientador científico, Professor Fernando Farinha da Silva Pinho, pela orientação, disponibilidade, apoio, interesse manifestado, partilha de informação, amizade e espírito crítico que sempre demonstrou ao longo de toda a dissertação.

Ao meu co-orientador, Engenheiro da empresa A2P, Pedro Lopes Barata David Ribeiro, pelo apoio e interesse manifestado pelo presente trabalho, bem como pela disponibilidade demonstrada e por todos os ensinamentos transmitidos.

Ao Professor Duarte Faria, pela disponibilidade e ajuda na parte final deste trabalho.

Agradeço ainda ao Engenheiro Jorge Ramos, representante do dono de obra, por ter autorizado o acompanhamento da obra.

Reconheço também o auxílio prestado pelo Engenheiro Pedro Oliveira, Director da obra acompanhada no estudo de caso, Engenheiro Pedro Carreira, Sr. Adriano Bento e Sr. Ernesto Rodrigues, da empresa Somafre, pelo apoio dado ao longo das visitas efectuadas.

Aos meus pais, irmão, avós, tios e amigos, pelo apoio incondicional e incentivo durante a realização desta dissertação, bem como durante o meu percurso universitário.

Causas, Anomalias e Soluções de Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos

Estudo de Caso

RESUMO

O tema tratado na presente dissertação, desenvolvida no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DEC FCT UNL), pretende estudar a temática da fendilhação em paredes de edifícios antigos.

O trabalho desenvolve-se em sete capítulos. Numa primeira fase, faz-se uma abordagem geral do tema, procede-se à recolha de informações, análise de trabalhos de investigação com pesquisa bibliográfica e posteriormente, faz-se uma descrição das anomalias estruturais, métodos de inspecção e diagnóstico de anomalias e técnicas de reabilitação de edifícios de alvenaria de pedra.

Para uma análise mais detalhada, acompanhou-se um edifício Pombalino que constitui o estudo de caso desta dissertação. Neste edifício efectuou-se uma caracterização construtiva e histórica, apresentando-se de forma esquemática as soluções propostas pelo projectista para a reabilitação das anomalias encontradas, sendo esta descrição complementada com diversas imagens.

Finalmente, faz-se uma análise crítica da solução estrutural adoptada no edifício acompanhado nesta dissertação, face a outras eventualmente disponíveis e possíveis.

Palavras-chave: Edifício antigo; Parede de alvenaria; Fendilhação; Técnicas de reabilitação.

Causes, Faults and Structural Rehabilitation Solutions of Ancient Buildings

A Case Study

ABSTRACT

The topic addressed in this thesis, developed in the Department of Civil Engineering of the Faculty of Science and Technology, of Nova University of Lisbon (DEC FCT UNL), aims to study the issue of cracking in walls of rubble stone masonry walls.

The work unfolds in seven chapters. Initially, a general approach to the topic is done, according to information and analysis of research literature. Next, descriptions of structural faults, inspection and fault diagnostics and rehabilitation techniques are done.

For a more detailed analysis of the major causes and rehabilitation solution of cracking of a Pombaline building, a case study is presented. Historical and building characterization of such ancient building are done and some different rehabilitation solutions, compared to the one proposed by the designer, are discussed.

Keywords: Ancient building; Masonry wall; Cracking; Rehabilitation techniques.

ÍNDICE DO TEXTO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações gerais	1
1.2 – Objectivos e metodologia da dissertação	2
1.3 – Organização da dissertação	3

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DE EDIFÍCIOS ANTIGOS COM PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA

2.1 – Considerações gerais	5
2.2 – Caracterização construtiva de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra	7
2.2.1 – Caracterização construtiva de fundações de edifícios antigos	7
2.2.2 – Caracterização construtiva de paredes de edifícios antigos	10
2.2.3 – Caracterização construtiva de pavimentos de edifícios antigos	16
2.2.4 - Caracterização construtiva de coberturas de edifícios antigos	18
2.3 – Breve caracterização da construção pombalina	20

CAPÍTULO 3 – PRINCIPAIS ANOMALIAS E MÉTODOS DE INSPECÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS COM PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA

3.1 – Considerações gerais	31
3.2 – Principais anomalias estruturais de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra	32
3.2.1 – Principais anomalias estruturais de fundações de edifícios antigos	33

3.2.2 – Principais anomalias estruturais de paredes de edifícios antigos	34
3.2.3 – Principais anomalias estruturais de pavimentos de edifícios antigos	40
3.3 – Principais métodos de inspecção e diagnóstico de anomalias de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra	42
3.3.1 – Métodos de inspecção e diagnóstico de anomalias de fundações de edifícios antigos	42
3.3.2 – Métodos de inspecção e diagnóstico de anomalias de paredes de edifícios antigos	46

CAPÍTULO 4 – TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS COM PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA

4.1 – Considerações gerais	55
4.2 – Principais técnicas de reabilitação de fundações de edifícios antigos	57
4.3 - Principais técnicas de reabilitação de paredes de alvenaria de pedra de edifícios antigos	62
4.4 - Principais técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira de edifícios antigos	71

CAPÍTULO 5 – EDIFÍCIO ACOMPANHADO NA PRESENTE DISSERTAÇÃO

5.1 – Considerações gerais	79
5.2 – Caracterização construtiva do edifício	80
5.3 – Estado de conservação do edifício	86
5.4 – Técnicas de reabilitação adoptadas no edifício	93

CAPÍTULO 6 – POSSIBILIDADES DE COMBINAÇÃO DE TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO

6.1 – Considerações gerais	97
6.2 – Combinações entre técnicas de reabilitação de fundações	97
6.3 – Combinações entre técnicas de reabilitação de paredes	99
6.4 – Combinações entre técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira	100

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

7.1 – Considerações gerais	103
7.2 – Objectivos propostos e trabalho alcançado	103

7.3 – Comentários finais e conclusões	104
7.4 – Desenvolvimentos futuros	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Gravura das ruínas da Igreja de S. Nicolau e imagem de Marques de Pombal	1
Figura 2.1 - Representação esquemática de fundação directa	8
Figura 2.2 - Representação esquemática de fundação indirecta, característica dos edifícios da baixa pombalina	8
Figura 2.3 - Representação esquemática do faseamento construtivo de uma fundação indirecta por estacas de madeira	9
Figura 2.4 - Fundação semi-directa	10
Figura 2.5 - Classificação das alvenarias de pedra quanto ao tipo de aparelho	11
Figura 2.6 - Classificação das alvenarias quanto ao tipo de assentamento	11
Figura 2.7 - Representação esquemática do alçado de parede de tabique	12
Figura 2.8 - Representação esquemática do alçado de parede de frontal	13
Figura 2.9 - Parede de alvenaria de pedra seca	14
Figura 2.10 - Parede de alvenaria ordinária ou alvenaria de pedra tradicional	14
Figura 2.11 - Parede de alvenaria mista	15
Figura 2.12 - Parede de cantaria	15
Figura 2.13 – Exemplos de tectos abobadados e em arco no rés-do-chão	16
Figura 2.14 – Constituição estrutural dos pavimentos	17
Figura 2.15 – Representação esquemática de ligações parede-pavimento com ferrolhos metálicos ...	18
Figura 2.16 – Representação esquemática e imagem de asnas	19

Figura 2.17 - Planta da baixa pombalina, correspondente ao plano de reconstrução de Lisboa depois do terramoto de 1755	22
Figura 2.18 - Edifícios pombalinos em Lisboa	22
Figura 2.19 – Representação esquemática de parede de frontal e fotografia recolhida do edifício estudo de caso	23
Figura 2.20 - Representação esquemática de parede de tabique e fotografia recolhida do edifício estudo de caso	24
Figura 2.21 - Pavimento em soalho constituído por pranchas de madeira	24
Figura 2.22 – Exemplo de escadas de edifícios pombalinos	25
Figura 2.23 - Exemplo de tectos de edifícios pombalinos	25
Figura 2.24 – Claraboia para iluminação de caixa de escadas	26
Figura 2.25 – Telhas cerâmicas do tipo “canudo”	26
Figura 2.26 – Cobertura com trapeiras	27
Figura 2.27 – Cobertura com mansardas	27
Figura 2.28 – Janelas características de edifícios pombalinos	28
Figura 2.29 - Azulejos típicos pombalinos	28
Figura 2.30 - Gaiola tridimensional de madeira, característica da reconstrução pombalina de Lisboa, após o terramoto de 1755	29
Figura 2.31 - Imagens de edifícios do núcleo pombalino	30
Figura 3.1 – Deformação resultante de movimentos de terras	33
Figura 3.2 – Eliminação de nembos para abertura de montra	34
Figura 3.3 - Fendilhação em parede de alvenaria de pedra, Igreja Matriz de Mértola	35
Figura 3.4 - Desagregação da alvenaria	36
Figura 3.5 - Possibilidades de esmagamento de paredes de alvenaria de pedra	36
Figura 3.6 - Efeito da acção da água por capilaridade	37
Figura 3.7 - Proliferação de fungos por humedecimento	38
Figura 3.8 - Apodrecimento do vigamento e revestimento dos pavimentos causado pelo humedecimento das paredes exteriores	38

Figura 3.9 - Oxidação de elementos metálicos (em guardas)	39
Figura 3.10 - Degradação causada pelo envelhecimento e falta de manutenção dos materiais	39
Figura 3.11 – Mecanismos de colapso de paredes perpendiculares à direcção do sismo	41
Figura 3.12 – Deformabilidade dos pavimentos	41
Figura 3.13 – Representação esquemática de um poço de reconhecimento	43
Figura 3.14 - Representação esquemática do ensaio à percussão	44
Figura 3.15 – Exemplo de relatório de um ensaio SPT do edifício acompanhado	45
Figura 3.16 - Câmara termográfica e respectiva termografia	47
Figura 3.17 - Aparelho e disposição do ensaio de ultra-sons	47
Figura 3.18 - Tomografia de uma parede de alvenaria antes e depois da injeção de grout	48
Figura 3.19 - Sistema de Radar de Prospecção Geotécnica, incluindo unidade de controlo, gerador de sinal e duas antenas	48
Figura 3.20 - Velocidade de propagação num elemento estrutural	49
Figura 3.21 - Inspeção de anomalias usando uma câmara boroscópica	50
Figura 3.22 – Humidímetros	50
Figura 3.23 - Metodologia do ensaio de arrancamento	51
Figura 3.24 - Macacos-planos	52
Figura 3.25 – Máquina de extracção de carotes e ensaio	53
Figura 4.1 – Representação esquemática de injeção na alvenaria da fundação	58
Figura 4.2 – Representação esquemática do recalçamento de uma fundação em duas fases	59
Figura 4.3 – Representação esquemática do confinamento e alargamento de uma fundação em alvenaria	60
Figura 4.4 – Representação esquemática do reforço de fundações com estacas	60
Figura 4.5 – Micro-estacas	61
Figura 4.6 – Reforço da solução existente com criação de grelha de viga de fundação	61
Figura 4.7 - Intervenções diferenciadas de desmonte e reconstrução em alvenarias de pedra ordinária, em função da sua qualidade construtiva	63
Figura 4.8 – Refechamento de junta	63

Figura 4.9 - Pregagens e conectores transversais	64
Figura 4.10 - Exemplos de reparação de uma fenda através da técnica de reboco armado e de alguns tipos de redes	65
Figura 4.11 - Exemplo de injeção de calda sob pressão	67
Figura 4.12 - Exemplo de injeção de calda por gravidade	67
Figura 4.13 - Ligação de paredes paralelas através de tirantes e peças de travamento	68
Figura 4.14 - Exemplo de aplicação da cinta (ou viga)	69
Figura 4.15 – Betão projectado em estruturas antigas num encamisamento	69
Figura 4.16 – Demolição de todo o interior do edifício antigo	70
Figura 4.17 – Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes à adição de novas vigas	73
Figura 4.18 – Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes à manutenção do vigamento existente com reforço através de elementos adicionais	74
Figura 4.19 – Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes à reparação, substituição parcial ou reconstrução de troços de vigas	75
Figura 4.20 - Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes à ligação através de ferrolhos ou chapas de aço	76
Figura 4.21 – Tarugamento de vigamento	77
Figura 4.22 - Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes ao aumento da rigidez no plano	77
Figura 5.1 - Vista aérea do edifício objecto de estudo	79
Figura 5.2 – Planta da cobertura do edifício estudo de caso	80
Figura 5.3 - Vistas das ruas envolventes ao edifício estudo de caso	81
Figura 5.4 - Estrutura em gaiola e pavimento da cobertura do edifício	82
Figura 5.5 - Tipologia das paredes do edifício	83
Figura 5.6 – Núcleo de elevadores	83
Figura 5.7 - Sobreposição das plantas dos pisos	84
Figura 5.8 – Parede de frontal alinhada com arco	85
Figura 5.9 – Desmonte dos pavimentos e paredes	85

Figura 5.10 – Estrutura metálica no tecto do piso 0	86
Figura 5.11 - Fendilhação detectada no edifício	87
Figura 5.12 - Degradação de elementos de madeira em paredes	88
Figura 5.13 - Degradação dos azulejos	88
Figura 5.14 - Desagregação em revestimentos interiores	89
Figura 5.15 - Caixilharia e guarnições dos vãos degradados	89
Figura 5.16 - Eflorescências em paredes e tectos	90
Figura 5.17 - Desprendimento e desagregação em tectos	90
Figura 5.18 - Degradação de vigamentos de pavimentos	91
Figura 5.19 - Existência de betonilhas e vários níveis de soalho nos pavimentos	91
Figura 5.20 - Corrosão em elementos metálicos	92
Figura 5.21 – Corte vertical de cantoneira metálica	94
Figura 5.22 – Corte vertical de ligação das paredes de frontal às paredes de alvenaria	94
Figura 5.23 – Reconstrução de parede de frontal	95
Figura 5.24 - Reforço com estruturas metálicas no piso térreo	95
Figura 5.25 - Execução da viga de betão para reforço do arco	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 6.1 – Combinação entre técnicas de reabilitação de fundações	98
Tabela 6.2 - Combinação entre técnicas de reabilitação de paredes de alvenaria de pedra	99
Tabela 6.3 - Combinação entre técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira	100

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações gerais

Na cidade de Lisboa, na sua parte baixa, entre a colina de São Francisco e a encosta do Castelo, ergue-se um conjunto urbano constituído predominantemente por edifícios de grande uniformidade e simplicidade.

Este conjunto de edifícios foi erguido após o terramoto de 1755, com relevante responsabilidade de Sebastião José de Carvalho e Melo, Marquês de Pombal, ministro do Rei D. José, sobre os escombros da antiga cidade, fig.1.1.



Fig. 1.1 – Gravura das ruínas da Igreja de S. Nicolau e imagem de Marques de Pombal [61]

Numa conjuntura difícil pela insuficiência de meios e materiais, mas obedecendo a princípios bem definidos, foi possível construir um interessante conjunto de edifícios muito inovadores na altura pela forma racional da sua construção, com recurso à standartização e à pré-fabricação, pela aplicação de um sistema construtivo anti-sísmico, baseado na gaiola tridimensional de madeira –a gaiola pombalina- protecção contra incêndios e interessantes preocupações de salubridade.

Em Portugal verifica-se uma grande predominância de edifícios antigos ¹⁾, construídos antes dos edifícios de betão armado, cuja estrutura resistente assenta nas suas paredes principais, designadas paredes-mestras ou resistentes, construídas essencialmente em alvenaria de pedra.

Porém, todos os edifícios são efémeros e como tal, é importante e interessante saber quais os problemas mais graves que se lhes colocam, decorrentes e directamente relacionados com as suas características construtivas, tipos de utilização, acção de manutenção e reabilitação, como forma de conhecer e fundamentar melhor possíveis técnicas de reabilitação.

Há que referir um dos elementos da bibliografia, o Eurocódigo 6 (EC6) – Projecto de Estruturas de Alvenaria, que foi analisado mas que não é aplicável ao presente trabalho. O EC6 abrange de facto as paredes de alvenaria, mas considerando a unidade de alvenaria como blocos bem definidos. Assim sendo, o EC6 não é directamente aplicável nos edifícios antigos, que são completamente heterogéneos [31].

Neste contexto, a presente dissertação pretende salientar e estudar os edifícios antigos, em particular os edifícios pombalinos, passando por várias fases, nomeadamente a apresentação do estudo de caso de uma obra de reabilitação de um edifício desta tipologia construtiva.

1.2 – Objectivos e metodologia da dissertação

Esta dissertação tem como objectivo fazer uma caracterização geral de edifícios antigos, com paredes resistentes em alvenaria de pedra tradicional, abordando aspectos relacionados com as suas características construtivas, principais anomalias, métodos de inspecção e diagnóstico dessas anomalias e respectivas técnicas de reabilitação.

Na fase final do trabalho apresenta-se um estudo de caso, de um edifício pombalino, em que se acompanhou a obra de reabilitação e o respectivo projecto, destacando-se as soluções de reabilitação relacionadas com os fenómenos de fendilhação das paredes, encontradas em fase de diagnóstico.

¹⁾ Nesta dissertação considera-se como edifício antigo, qualquer edificação anterior ao advento do betão armado como material estrutural dominante, que se generalizou em Portugal em meados do século XX. É curioso verificar como o betão armado se desenvolve muito rapidamente (em poucas décadas) no contexto da construção de edifícios, relegando para segundo plano um referencial de tradição conservadora que se mantinha quase imutável há séculos.

Além disso, faz-se uma análise crítica das soluções preconizadas pela empresa projectista ²⁾ e propõem-se outras alternativas. Neste contexto, são apresentadas tabelas de possíveis combinações entre técnicas de reabilitação em fundações, paredes e pavimentos.

1.3 – Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, incluído o presente, com a seguinte organização:

No **capítulo 2**, faz-se uma caracterização geral de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra, de modo a desenvolver o trabalho sobre bases mais sólidas. Assim, foi necessário recuar no tempo para compreender a origem de alguns conceitos, bem como o seu desenvolvimento ao longo das várias gerações.

Toda esta descrição, aprofundamento do estudo e conhecimento tem como objecto de estudo um edifício pombalino, em Lisboa, cujos trabalhos foram acompanhados desde o início desta dissertação.

No **capítulo 3**, sintetizam-se os principais aspectos relacionados com as origens e consequências das anomalias estruturais em fundações, paredes e pavimentos de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra, assim como dos respectivos métodos de inspecção e diagnóstico.

No **capítulo 4**, para além de uma breve introdução à envolvente da reabilitação, faz-se ainda a descrição das principais técnicas de reabilitação de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra, em fundações, paredes e pavimentos.

No **capítulo 5**, apresenta-se um estudo de caso, e faz-se a caracterização construtiva e histórica do edifício acompanhado. Neste capítulo, abordam-se também as alterações construtivas do edifício objecto da dissertação, as anomalias detectadas e as técnicas de reabilitação aplicadas, com destaque para os aspectos da fendilhação.

Apresentam-se, de forma esquemática, as soluções propostas pelo projectista para a reabilitação das anomalias apresentadas, sendo esta descrição complementada com diversas imagens obtidas no acompanhamento efectuado à obra.

No **capítulo 6**, é apresentada uma análise crítica das soluções de reabilitação propostas para o edifício em estudo, face a outras combinações de técnicas de reabilitação igualmente possíveis. Esta análise apresenta-se em forma de tabelas de combinações entre as principais técnicas de reabilitação em fundações, paredes e pavimentos.

²⁾ Empresa A2P Consult, Estudos e Projectos Lda.

No **capítulo 7**, para finalizar a dissertação, apresentam-se algumas conclusões gerais deste estudo e acompanhamento de obra, assim como as diversas opções que o processo de reabilitação pode ter e perspectivas de trabalhos futuros.

As figuras que não estão referenciadas foram obtidas pela autora desta dissertação.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO GERAL DE EDIFÍCIOS ANTIGOS COM PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA

2.1 – Considerações gerais

O património edificado, classificado ou não, constitui uma referência histórica de extrema importância, seja sob o ponto de vista social seja sob o ponto de vista técnico, fornecendo elementos de relevante importância para o conhecimento e entendimento da própria evolução da capacidade humana de adaptação ao meio envolvente, desde os primórdios da História.

Desde que há registos sobre a actividade do Homem à face da Terra, a sua vida surge inevitavelmente associada às mais diversas formas de habitar. Foi deste modo que, depois de vários milhares de anos, a habitação passou de simples local de abrigo e refúgio de animais e intempéries, na sua forma mais primitiva, a local de verdadeiro bem-estar, onde a maioria das exigências de segurança e habitabilidade são contempladas, tendo por base as mais desenvolvidas soluções construtivas da actualidade.

Após alguns períodos de maior preocupação com o património construído, surgem outros em que a necessidade crescente de cortar radicalmente com as marcas do passado se sobrepõe à valorização do património. A análise da documentação disponível de cada época, permite ter a percepção da evolução dos conceitos de conservação do património. No Renascimento observou-se um progressivo desejo de restabelecer uma legislação capaz de orientar as intervenções em edifícios de reconhecido valor. No caso de Portugal a primeira legislação referente ao património construído remonta ao ano de 1721, durante o reinado de D. João V [42].

A reabilitação como actividade de projecto e de construção, obriga a proceder ao reconhecimento do património arquitectónico existente antes da intervenção como um bem de valor histórico, arqueológico, arquitectónico ou urbanístico, promovendo assim a melhor estratégia de intervenção,

sem esquecer a necessidade de confronto entre o novo programa, os novos usos e os novos regulamentos aplicáveis ao edifício em estudo. Da compatibilização das potencialidades e dos valores pré-existentes, com as restrições características de cada projecto, resulta um projecto de reabilitação cuidado e ponderado que permite uma intervenção mais bem sucedida.

A combinação entre os diversos critérios de intervenção, sejam eles mais ou menos intrusivos, resulta como ponto-chave para o desenvolvimento de um projecto onde a conservação do património construído se pretende assegurada, satisfazendo as novas exigências regulamentares e os novos padrões de conforto, segurança e salubridade que divergem dos padrões existentes na época da construção dos edifícios antigos, principais alvos de intervenções de reabilitação. Assim, a reabilitação pode tomar um carácter especial quando a complexidade da intervenção e o valor da pré-existência se contabilizam realmente elevados.

O avanço do conhecimento sobre as técnicas de reabilitação de edifícios antigos é normalmente fundamentado em trabalhos de investigação desenvolvidos em universidades, laboratórios, etc. Por vezes, tal avanço resulta também da análise do desempenho de certas soluções de reforço, por exemplo, após a ocorrência de acções sísmicas, naquilo a que habitualmente se designa por “tentativa-erro”.

As construções de alvenaria de pedra têm marcado uma presença indelével ao longo da História. Estas construções, como é o caso de castelos, templos religiosos e palácios, chegam até aos nossos dias em razoável estado de conservação (desde que não sejam abandonados mas sim utilizados para vários fins) e apresentam em geral uma grande heterogeneidade, proveniente por exemplo, dos diferentes materiais e técnicas construtivas utilizadas ao longo do tempo, da disponibilidade e custos dos materiais e transporte, das tradições regionais de cada país e da formação dos operários. Como tal, a definição de um padrão construtivo único não existe.

As paredes estruturais são também caracterizadas por uma grande irregularidade geométrica, correspondendo maioritariamente ao prolongamento em altura das fundações, utilizando os mesmos materiais de construção com alguma redução de espessura, e pela existência de cavidades ou vazios interiores, em maior ou menor percentagem, principalmente nas paredes de múltiplas folhas [45].

Neste contexto, referem-se nas secções seguintes os principais conceitos relacionados com a caracterização construtiva de edifícios antigos, principais anomalias estruturais, respectivos métodos de inspecção e diagnóstico e técnicas de reabilitação.

2.2 – Caracterização construtiva de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra

Do ponto de vista construtivo, os edifícios antigos objecto desta dissertação são constituídos por fundações e paredes (resistentes e de compartimentação), em que predomina a alvenaria de pedra (por vezes armada com elementos de madeira), e pavimentos, escadas e cobertura, em que o material principal é a madeira.

A maioria das construções de pedra no nosso país localiza-se principalmente em zonas urbanas, mas também difundidas em zonas rurais. Normalmente possuem uma estrutura constituída por: (i) fundações, directas na maior parte dos casos; (ii) paredes resistentes ou mestras, exteriores, e, nos edifícios com maior área de implantação, também interiores (sendo a maioria das paredes mestras interiores na construção pombalina composta por frontais); (iii) pavimentos, tectos, coberturas e escadas, em geral de madeira.

Neste contexto, caracterizam-se nos pontos seguintes as fundações, paredes e pavimentos desta tipologia construtiva.

2.2.1 – Caracterização construtiva de fundações de edifícios antigos

As fundações transferem cargas, na sua maioria gravíticas, para o terreno de fundação. No caso dos edifícios antigos estas podem ser divididas em três tipos, consoante a profundidade do solo de fundação, a sua capacidade resistente e as cargas transmitidas:

- Superficiais ou directas
- Profundas ou indirectas
- Semi-directas

Fundações superficiais ou directas

As fundações directas, são compostas por sapatas isoladas no caso dos pilares e por sapatas contínuas para as paredes de alvenaria. Nestas fundações, as paredes resistentes têm continuidade para o terreno, com um alargamento de espessura, entre 0,10m e 0,15m, fig. 2.1.

A sobrelargura tem como função aumentar a área de contacto da parede com o terreno, havendo assim, uma maior segurança relativamente à força de compressão [4, 7].

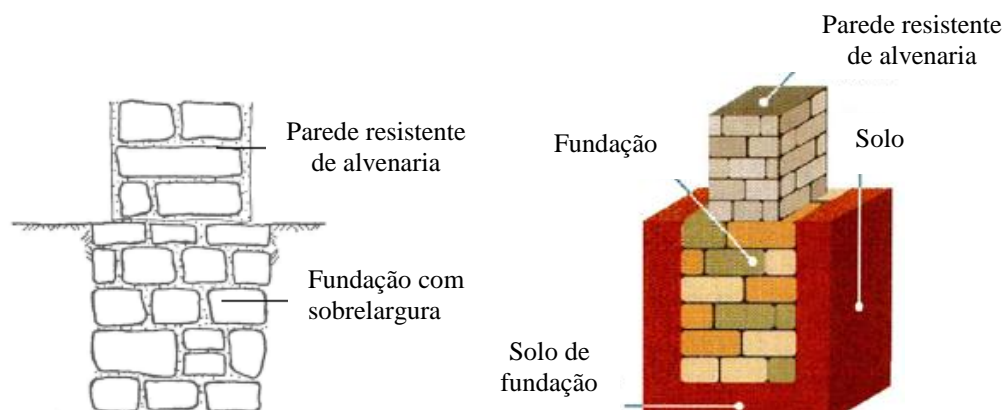
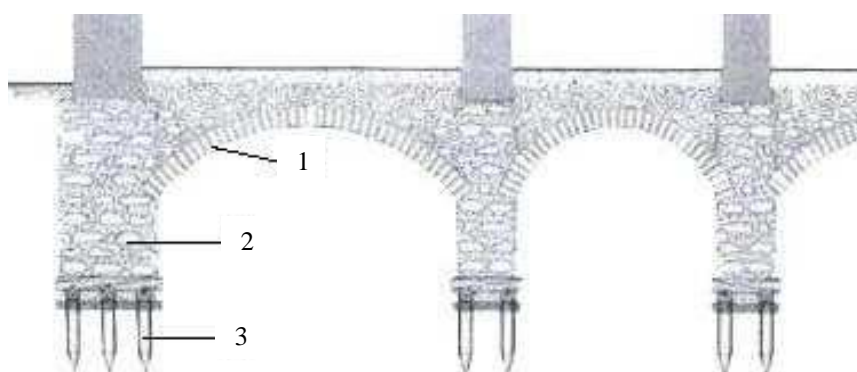


Fig. 2.1 – Representação esquemática de fundação directa [1, 4, 42].

Fundações indirectas

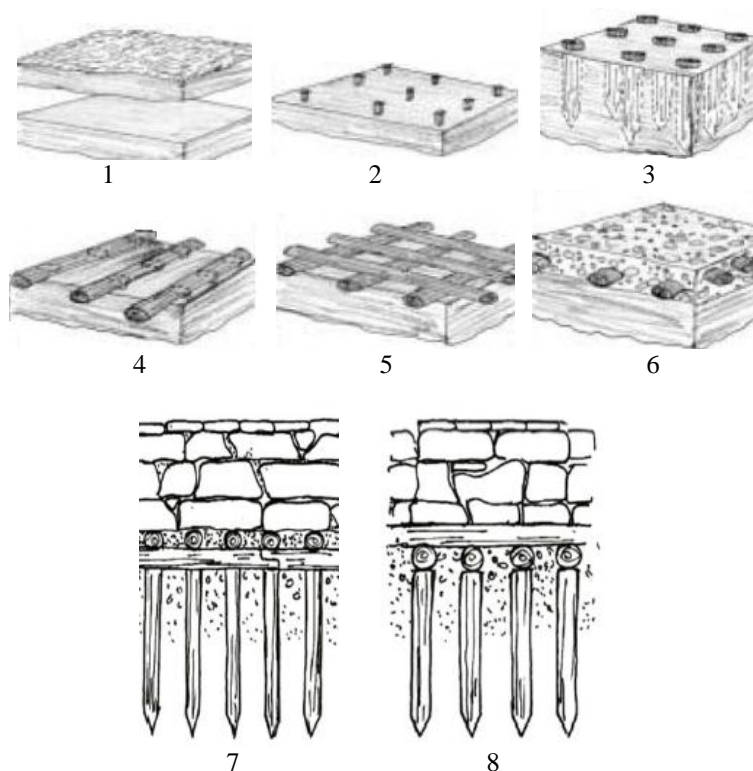
As fundações indirectas consistiam na cravação de estacas de madeira, que regra geral eram de pinho, com um diâmetro a variar entre os 15 e os 18cm, com um comprimento de 1,5m e afastamento de entre estacas de 40cm. A ligação era por intermédio de cavilhas de ferro forjado e a cravação era realizada com recurso a um maciço ou um bate-estacas denominado por bugio [4, 34, 49].

Este tipo de solução estava no entanto limitada pelos tipos de solo presentes na camada que era atravessada, até se atingir o respectivo estrato com a capacidade resistente pretendida. Assim, executava-se a abertura de poços, com um afastamento médio na ordem dos 3,0 m, até se atingir as camadas resistentes do solo de fundação. No topo destes poços, preenchidos por alvenaria de pedra de boa qualidade, construía-se arcos de tijolo maciço, de pedra ou mistos, sobre os quais se construía as paredes estruturais (mestras ou resistentes), fig. 2.2. O processo de execução deste tipo de fundações pode ser dividido em seis fases distintas, fig. 2.3 (1 a 6). Ainda na fig. 2.3 (7 a 8) representam-se duas vistas (corte) desta fundação.



1 – arco de alvenaria; 2 – poço de fundação; 3 – estacas de madeira

Fig. 2.2 - Representação esquemática de fundação indirecta, característica dos edifícios da baixa pombalina (adaptado de [4, 33])



1 - execução das escavações e compactação do terreno; 2 - marcação no terreno onde são cravadas as estacas de madeira; 3 - cravação das estacas no solo sob pressão, através de um maço ou de um engenho apropriado denominado de macaco ou bugio; 4 - colocação de longarinas, através de um entalhe; 5 - apoio das travessas, solidarizadas às longarinas por intermédio de cavilhas de ferro; 6 - colocação do massame a envolver a estrutura de madeira, composta pelas longarinas e travessas; 7 e 8 - representação em corte.

Fig. 2.3 – Representação esquemática do faseamento construtivo e cortes de uma fundação indirecta por estacas de madeira [49]

A opção pelos arcos de alvenaria em detrimento de vigas com concepção mais simples, devia-se ao facto destes serem a forma estrutural que mais se adequa às características da pedra, que é um material com uma grande capacidade de resistência à compressão e uma fraca resistência flexão.

As fundações com cravação de estacas de madeira, obrigava a existência de camadas brandas e regulares que possibilitassem a cravação, uma vez que a presença de estratos rijos ou blocos de pedras destruíam a cabeça da estaca, devido à acção do martelo do bate-estacas [42].

Esta foi uma solução muito utilizada aquando da reconstrução da cidade de Lisboa após o terramoto, pois proporcionava uma excelente consolidação do solo. A escolha da solução teve como factores decisivos o nível freático muito próximo da superfície (3,5m) e a natureza dos solos existentes [33].

Fundações semi-directas

As fundações semi-directas aplicam-se quando o terreno de fundação não se encontra à superfície, havendo por isso, necessidade de se efectuar uma escavação até encontrar camadas de solo mais resistentes.

Neste tipo de solo havia algumas hipóteses para solucionar o problema, uma delas passava por executar caves até se encontrar um terreno com boas características mecânicas que possibilitasse a fundação directa; a outra consistia na execução de poços de secção quadrangular (solução mais económica pelo menor volume de terras escavado).

Os poços eram executados em alvenaria de pedra de boa qualidade, sendo que no seu coroamento se erguiam arcos em alvenaria de pedra ou de tijolo maciço, no qual se apoiavam os pavimentos do piso térreo, fig.2.4.

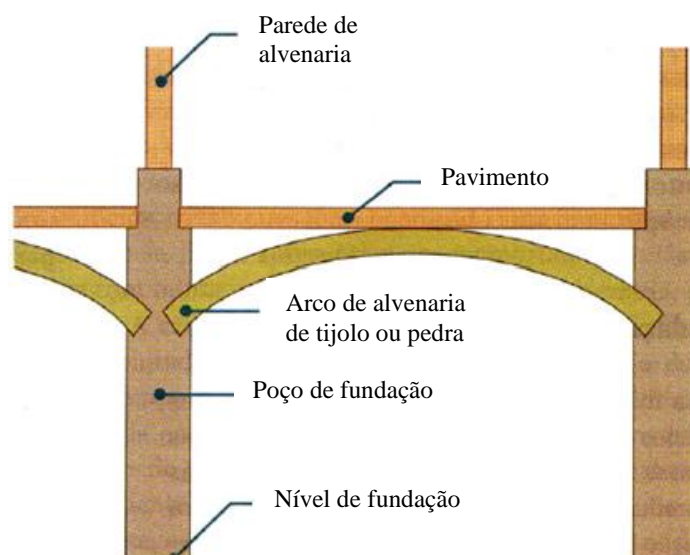


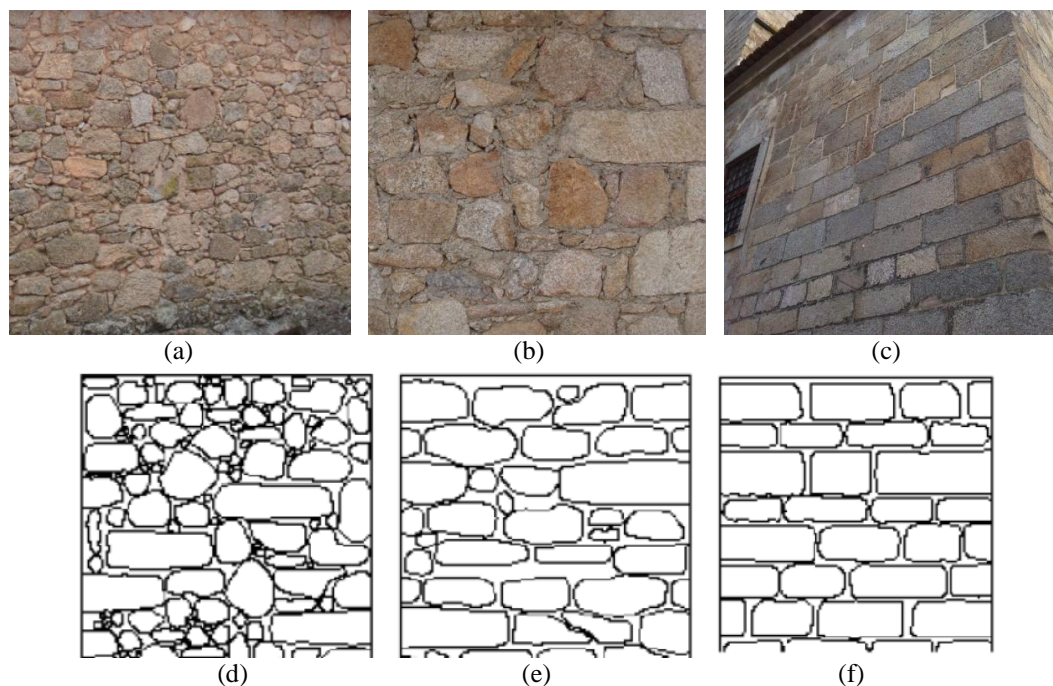
Fig. 2.4 – Fundação semi-directa [4]

2.2.2 – Caracterização construtiva de paredes de edifícios antigos

Relativamente às paredes dos edifícios antigos, estas são normalmente classificadas entre paredes divisórias (ou de compartimentação) e paredes resistentes (ou mestras). As paredes são definidas como maciços ou elementos construtivos de alvenaria ou cantaria, cujo comprimento e altura excedem em muito a espessura, podendo estas ser interiores ou exteriores e por sua vez divididas em fachadas principal, posterior e laterais. Estas paredes são constituídas por pedras, tijolos e até argila.

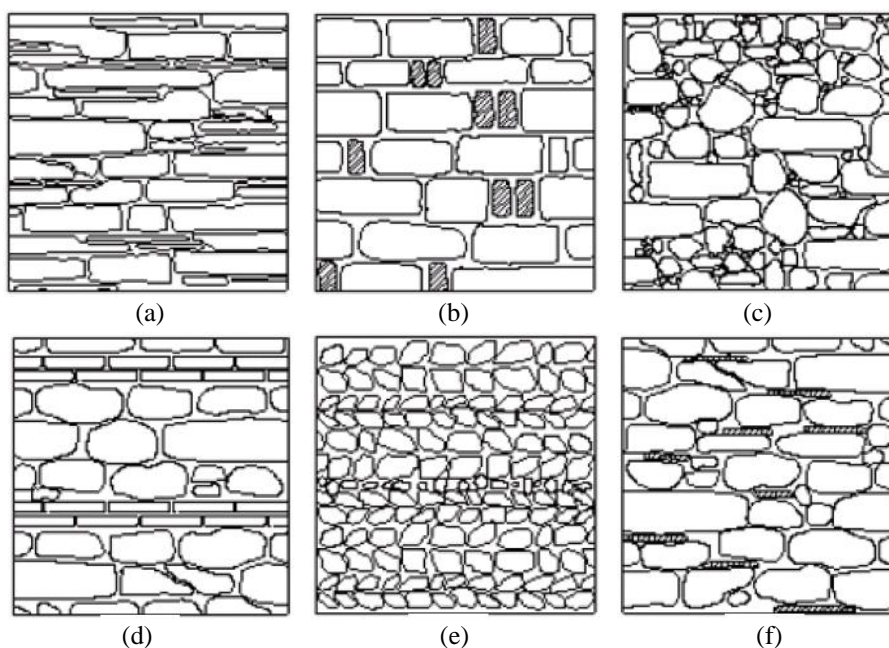
As pedras podem ser “unidas” entre si por disposição relativa ou pela adição de argamassas de cal, gesso, cimento, entre outros, enquanto que as paredes de cantaria são formadas por pedras aparelhadas, assentes com finas camadas de argamassa [42].

A caracterização das alvenarias pressupõe um estudo detalhado quanto ao seu grau de imbricamento, quer ao nível do aparelho dos blocos de alvenaria, fig. 2.5, quer do ponto de vista do tipo de assentamento realizado, fig. 2.6.



(a, d) – juntas desalinhas; (b, e) – juntas irregulares alinhadas; (c, f) – juntas regulares alinhadas

Fig. 2.5 – Classificação das alvenarias de pedra quanto ao tipo de aparelho [52] e respectivos exemplos



(a) – horizontal; (b) – horizontal / vertical; (c) – aleatório; (d) – escalonado com fiadas de regularização; (e) – em “espinha de peixe”; (f) – com calços ou cunhas

Fig. 2.6 – Classificação das alvenarias quanto ao tipo de assentamento (representação esquemática) [52]

A dimensão dos blocos de alvenaria na estabilidade global das paredes de cantaria é relevante, pois quanto menor é o comprimento (no plano da parede) dos blocos utilizados, menor é a resistência às forças verticais (e às forças de corte) que as alvenarias apresentam.

As dimensões e distribuição de pedras que ocupam toda a espessura da alvenaria, designadas por perpianhos (ou travadouros), influenciam a resistência das paredes às acções fora do plano das alvenarias: quanto maior o grau de imbricamento de uma alvenaria, maior é a sua resistência [33, 34, 52].

Paredes divisórias (ou de compartimentação)

As paredes divisórias ou de compartimentação, limitam os diversos compartimentos que compõem um piso, podendo ser construídas em alvenaria de pedra, de tijolo ou de outro tipo. Nos edifícios de habitação são frequentemente constituídas por um esqueleto de madeira, o fasquiado, aplicado sobre tábuas colocadas ao alto, sendo o conjunto revestido com reboco de argamassa de cal e “saibro”, em ambas as faces, e posteriormente esboçado e estucado, fig. 2.7.

Geralmente designadas por tabiques, estas paredes distinguem-se das frontais por terem uma espessura média de 0,10m a que correspondem resistências mecânicas inferiores.

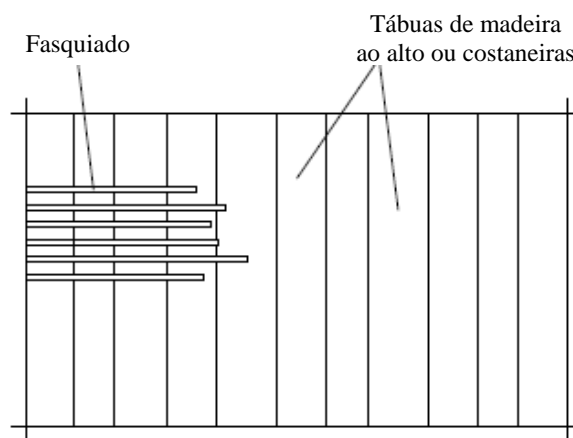


Fig. 2.7 – Representação esquemática do alçado de parede de tabique [77]

Paredes resistentes (ou mestras)

As paredes que desempenham funções resistentes, isto é, que representam um papel relevante na estrutura do edifício no que se refere à resistência a cargas verticais (nomeadamente as de natureza gravítica) e também a forças horizontais (como o vento e os sismos), são frequentemente designadas por paredes resistentes ou mestras. Estas paredes apresentam geralmente grande espessura e são constituídas por materiais heterogéneos, de que resultam elementos rígidos e pesados, de materiais cuja principal característica mecânica consiste na quase nula resistência à tracção e razoável resistência e esforços de compressão. Estas paredes podem ser interiores e exteriores.

Paredes interiores resistentes são também designadas por frontais, que no caso dos edifícios da Baixa pombalina, em Lisboa, são constituídas por um esqueleto ou grade de madeira envolvido por alvenaria, figs. 2.8 e 2.11.

As paredes exteriores que atingem o espigão do telhado (cumeeira), designam-se por empenas e são geralmente as paredes laterais.

Para as paredes exteriores a lógica das grandes espessuras está também associada à função que estas desempenham na protecção do interior habitado do edifício em relação aos agentes atmosféricos e, em particular, à acção do vento e da água da chuva [42].

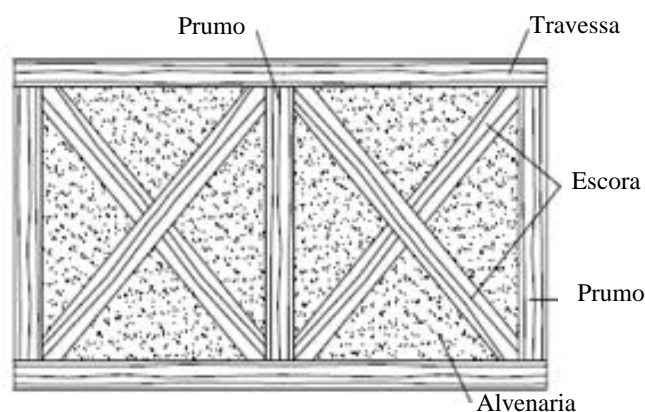


Fig. 2.8 – Representação esquemática parcial de alçado de parede de frontal [77]

No nosso País, as paredes de alvenaria de pedra dividem-se principalmente em:

- Paredes de alvenaria de pedra seca
- Paredes de alvenaria ordinária
- Paredes de alvenaria mista
- Paredes de cantaria

Em seguida sintetizam-se as características construtivas gerais de cada uma das situações referidas anteriormente.

Paredes de alvenaria de pedra seca (insonsa ou mal argamassada)

Caracterizadas pelo assentamento das pedras com uma reduzida ou inexistente quantidade de argamassa, fig. 2.9. Estas paredes estão associadas na sua maioria a construções rudimentares, onde se utiliza o xisto ou o granito nas paredes resistentes. Esta solução foi também muito difundida na construção de muros de vedação de propriedades, um pouco por todo o país.



Fig. 2.9 – Parede de alvenaria de pedra seca (edifício em Idanha-a-Nova)

Paredes de alvenaria ordinária (alvenaria de pedra irregular ou alvenaria de “pedra e cal”)

São construídas com pedras de formas e dimensões irregulares, por vezes misturadas com elementos cerâmicos ou outros, ligadas entre si por uma “matriz” de argamassa de cal e areia, em geral ao traço 1:3, fig. 2.10. Na maior parte dos casos, é utilizada a pedra calcária, também sendo frequente a utilização de pedras de outras origens.

As paredes resistentes apresentam uma espessura considerável, originando elementos rígidos e muito pesados, com alguma resistência à compressão, menor resistência a esforços de corte e reduzida resistência à flexão.



Fig. 2.10– Parede de alvenaria ordinária ou alvenaria de pedra tradicional (edifício em Lisboa)

Paredes de alvenaria mista

São utilizadas pedras de diversas origens (granito, calcário ou xisto), mais ou menos misturadas entre si, e nalguns casos, também com elementos argilosos, de madeira e de ferro. Um exemplo de paredes mistas, de alvenaria e madeira corresponde aos edifícios da Baixa Pombalina, estando a armação tridimensional de madeira, a gaiola, posicionada no paramento interior das paredes resistentes

exteriores, enquanto que nas paredes resistentes interiores (frontais) são utilizadas as peças de madeira, em forma de “cruz de Santo André” (alvenaria armada), fig. 2.11.

Os restantes elementos estruturais, pavimentos, coberturas e escadas, completam a armação de madeira fixa sobre as paredes de cantaria do piso térreo. A gaiola tridimensional de madeira confere a estas construções a ductilidade e resistência às acções sísmicas que a alvenaria simples não possui.



Fig. 2.11 – Paredes de alvenaria mista (edifício em Lisboa)

Paredes de cantaria

Na maioria das construções deste tipo, a cantaria, constituída por pedras aparelhadas, limita-se aos paramentos exteriores e a elementos singulares, como cunhais, colunas e pilastras, utilizando-se nos paramentos interiores das paredes exteriores, em geral, a alvenaria ordinária, fig. 2.12. Noutras situações, as paredes exteriores apresentam duas folhas de cantaria, sendo o núcleo central constituído por alvenaria de pedra miúda (irregular). A durabilidade das construções de alvenaria e cantaria, deve-se em geral ao aproveitamento e melhoria das soluções ao longo do tempo, tirando partido do conhecimento adquirido, e à boa qualidade da mão-de-obra com que foram construídas, “tapando” assim a ausência de regulamentação aplicável.



Fig. 2.12 – Paredes de cantaria (Convento de Jesus, em Setúbal)

2.2.3 – Caracterização construtiva de pavimentos de edifícios antigos

Os pavimentos de edifícios antigos estão, geralmente, associados a estruturas de madeira cujos elementos necessitam de uma reabilitação frequente.

Os pavimentos de edifícios antigos descritos nesta secção são na sua maioria pavimentos elevados, uma vez que os pavimentos térreos eram constituídos maioritariamente em terra batida, ou enrocamento de pedra, com uma camada de revestimento por cima, em lajedo de pedra, em ladrilhos cerâmicos ou em sobrados de madeira [1].

A madeira é o material estrutural predominante dos pavimentos elevados dos edifícios antigos, no entanto, em alguns pisos de edificações mais nobres, a solução estrutural dos pavimentos consistia na construção de arcos e abóbadas de alvenaria, que constituíam soluções mais duráveis e capazes de “vencer” vãos de maior dimensão, fig. 2.13. Sobre os arcos e abóbadas de alvenaria eram colocados os revestimentos através da construção dum vigamento de madeira, apoiado nos elementos de alvenaria, que servia de apoio ao soalho, ou ainda através do enchimento do arco com entulho seleccionado, pedra solta ou terra, sobre o qual se colocava uma camada de argamassa onde o revestimento assentava. O abatimento do arco era um factor a ter em conta, pois quanto mais abatido o arco, maiores eram os impulsos horizontais gerados e transmitidos às paredes resistentes.



Fig. 2.13 – Exemplos de tectos abobadados e em arco no rés-do-chão [13, 3]

A escolha do tipo de madeira a utilizar na construção tinha normalmente em conta o edifício em que era aplicada, a função pretendida e sobretudo a predominância local das espécies de árvore [1].

A estrutura dos pavimentos é constituída essencialmente pelo vigamento e pelos soalhos, tendo as vigas normalmente secção rectangular ou, em edifícios mais antigos, a forma do tronco de madeira, fig. 2.14 (a) [20].

No vigamento principal são colocadas vigas ou barrotes de madeira dispostos paralelamente entre si e com afastamentos que podem variar consoante vários factores, entre eles a capacidade de carga e o

vão a que estas ficam sujeitas. O afastamento varia entre cerca de 0,20 e 0,40m (entre eixos), sendo que a primeira e última viga dos pavimentos é frequentemente colocada junto às paredes.

As secções das vigas possuem, em geral, alturas da ordem de 0,20m, devido à limitação das espécies florestais à disposição, o que limita o vão a vencer para valores de cerca de 4 metros. Nas situações em que era necessário vencer vãos maiores, recorria-se a vigas principais de maior secção onde apoiava o vigeamento atrás referido [1, 20].

De modo a evitar a rotação das vigas, é comum existirem peças de madeira, designados por tarugos, assemblados segundo alinhamentos transversais e bem justos, fig. 2.14 (b, c).

O tarugamento impede também a encurvadura das vigas e minimiza possíveis efeitos de deformação durante o período de secagem da madeira [1].

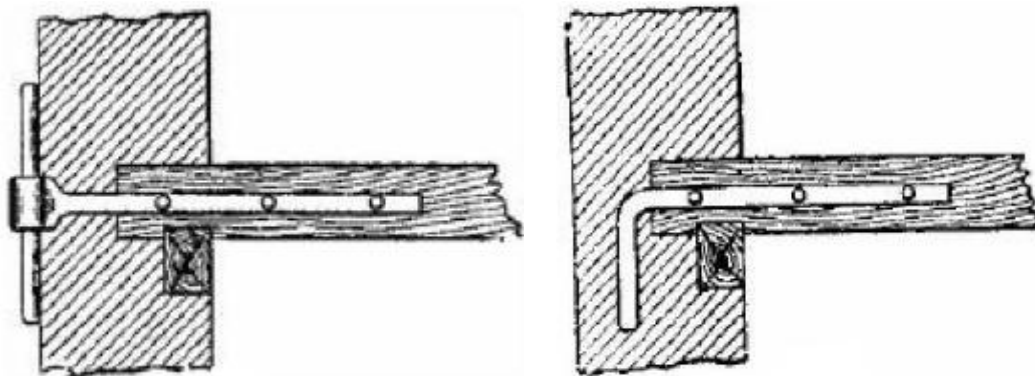


(a) - pavimento constituído pelo vigeamento e pelos soalhos; (b) - tarugamento em pavimento de madeira; (c) – tarugamento normalmente adoptado no apoio de paredes divisórias

Fig. 2.14 – Constituição estrutural dos pavimentos

Sempre que se pretendia otimizar o travamento geral dos pavimentos face a uma acção sísmica, melhorava-se a ligação parede-pavimento através da utilização de ferrolhos. Estas peças têm configurações muito variadas e consistem basicamente em barras achatadas de ferro, com furos para pregar ou aparafusar às vigas e que depois eram embebidas nas paredes.

Estes elementos podiam atravessar as paredes e serem ancorados na face exterior da parede através dum vergalhão (ou chaveta), fig. 2.15, ou encastrar na parede através da dobragem em ângulo recto do ferrolho (de esquadro), ficando o ramo vertical embutido na parede, fig. 2.15 [20, 54].



Esquerda: ferrolho ancorado pelo exterior; Direita: ferrolho de esquadro

Fig. 2.15 – Representação esquemática de ligações parede-pavimento com ferrolhos metálicos [54]

2.2.4 – Caracterização construtiva de coberturas de edifícios antigos

No edificado antigo, distinguem-se vários tipos de coberturas. As coberturas inclinadas são as mais predominantes, existindo em muito menor número as coberturas planas (em terraço) e as coberturas curvas (abóbadas e cúpulas). A inclinação depende, essencialmente, da região e dos agentes atmosféricos condicionantes dos locais em que se encontram (quantidade de precipitação, probabilidade de queda de neve, etc.).

No caso das coberturas em terraço, a estrutura baseia-se em arcos e abóbadas, com enchimentos de nivelamento que recebem o revestimento. O número de águas da cobertura está directamente relacionado com a geometria e a dimensão em planta do respectivo edifício. Nos edifícios de menor dimensão, a estrutura da cobertura pode reduzir-se a uma única água (vertente), disposta segundo a menor dimensão do edifício, para vencer o vão.

A estrutura é, assim, composta por um conjunto de vigas paralelas, interligadas com barras horizontais (mães) e conjugadas com alguns elementos auxiliares, de modo a conferir maior rigidez ao elemento. Enquanto nos edifícios de maior dimensão e importância, a estrutura principal das coberturas torna-se mais complexa, podendo ter duas, três ou quatro águas.

Estas coberturas passam a ser compostas por asnas (o mais simétricas possível), obtidas pela simples ligação de elementos básicos de madeira em forma de triângulo, fig. 2.16 [1].

A estrutura das coberturas dividia-se em principal e secundária. A primeira, assente directamente nas paredes resistentes, era responsável pela absorção de esforços. A segunda, colocada entre a estrutura principal e o revestimento, tinha a função de servir de apoio à colocação adequada da telha cerâmica. A estrutura principal da cobertura subdividia-se em dois grupos asnas e os travamentos [12].

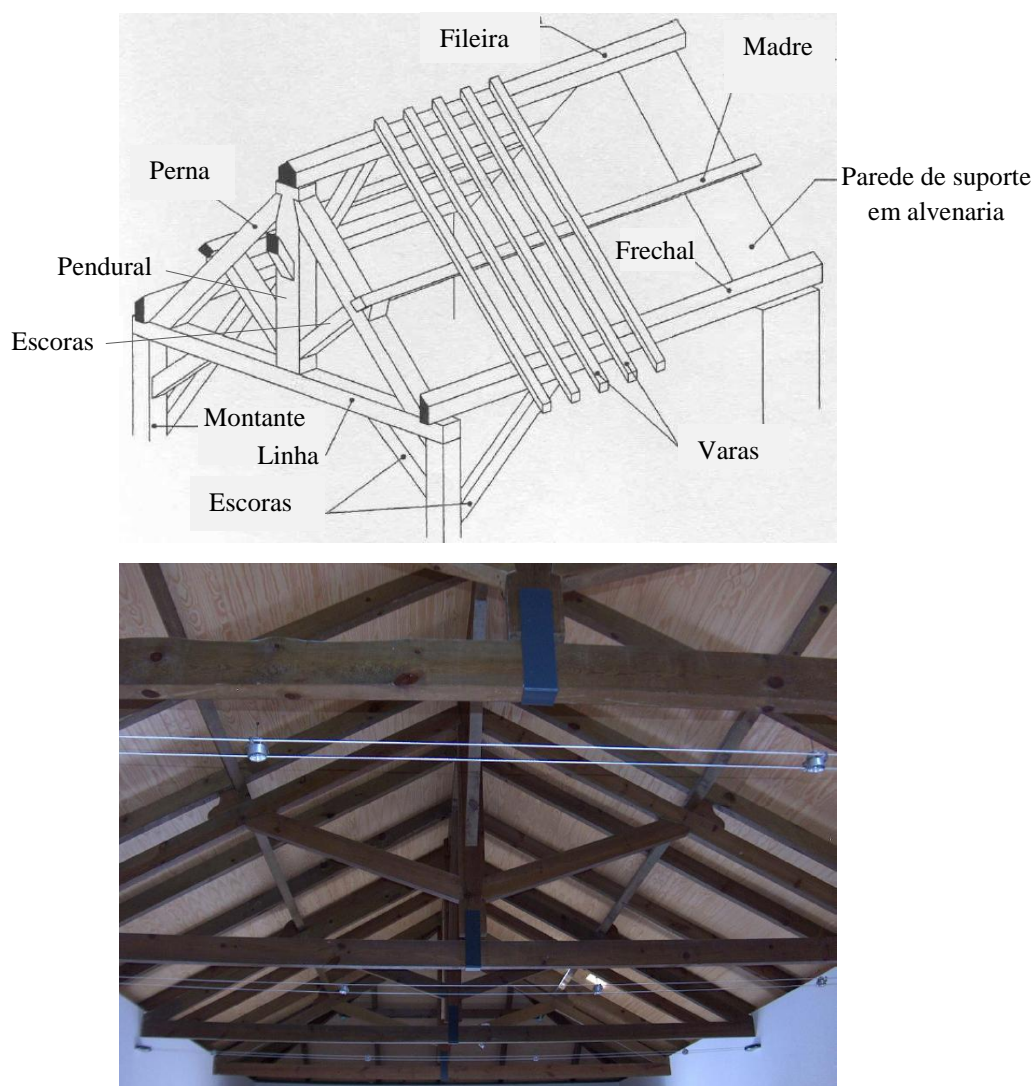


Fig. 2.16 – Representação esquemática e imagem de asnas [22]

As asnas apresentam uma pendente variável entre 20° e 30° com vãos médios entre 6 e 7m e são constituídas pelos seguintes elementos [38]:

- Linha: elemento em posição horizontal com a função de travar a ligação das duas pernas;
- Perna: elemento inclinado que define a inclinação das vertentes do telhado. Assenta sobre a linha, no topo une-se ao pendural.
- Pendural: elemento vertical colocado no eixo de simetria da asna em delimitação ao vértice do telhado. Uma vez que é um elemento comum a todas as peças, a sua principal função consiste em fazer a ligação entre todos os elementos, conferindo estabilidade à estrutura.
- Escora: elemento inclinado, cuja função é a da ligação das pernas ao pendural, impedindo a deformação por flexão das mesmas, quando solicitadas por acções exteriores.

Os travamentos são os elementos que se encontram dispostos perpendicularmente ao alinhamento das asnas fazendo a união entre as mesmas. São, em geral, constituídos por [38]:

- Frechal: elemento de madeira embutido nas paredes de alvenaria de pedra, servindo de apoio às asnas (ou pavimentos); este elemento permite uma distribuição mais uniforme de esforços da cobertura para as paredes resistentes.
- Madre: elemento paralelo ao frechal colocado sobre as pernas da asna, estabelece a ligação entre as asnas da cobertura. Constitui também a ponte entre a estrutura principal e secundária.
- Fileira: elemento horizontal, colocado no topo da cobertura sobre os diversos pendurais. Define o vértice do telhado e serve de apoio à estrutura secundária.
- Varas: elementos colocados sobre e perpendicularmente ao frechal, à fileira e à madre.

2.3 – Breve caracterização da construção pombalina

Na cidade de Lisboa é possível observar-se e identificar-se edifícios de diversas épocas, com diferentes tipologias estruturais e construtivas, encontrando-se muitos dos pertencentes a épocas remotas, num elevado estado de degradação ou com relevantes alterações.

A reconstrução da baixa Lisboa, após o terramoto de 1755, simboliza um período áureo da actividade construtiva em Portugal. A construção pombalina representa o sistema construtivo mais aperfeiçoado e original que se utilizou no nosso país.

A baixa pombalina é classificada como Monumento Nacional desde 12 de Setembro de 1978, sendo a sua área delimitada a norte pela travessa de São Domingos, largo do mesmo nome e Largo de D. João da Câmara; a sul pela Rua da Alfândega e pela Rua do Arsenal até à Praça do Município; a oeste pelas Ruas Nova do Almada, do Carmo e 1.º de Dezembro e a este pela Rua da Madalena e pelo Poço do Borratém [42].

A construção pombalina surgiu, na sequência de um violento sismo que ameaçou toda a costa portuguesa, em particular o litoral sul, no dia 1 de Novembro de 1755, dia de Todos os Santos, às 9 horas e 40 minutos. A baixa da cidade de Lisboa foi totalmente devastada pelo maremoto que se seguiu ao terramoto. O mar arrastou pessoas e bens ao mesmo tempo que um catastrófico incêndio, que durou seis dias consumiu completamente a baixa da cidade [33].

Foi neste contexto de tragédia e confusão, que Marquês de Pombal assumiu de imediato a resolução da crise causada pela devastação, dedicou-se ao planeamento e reconstrução da cidade revelando as suas capacidades de chefia e organização. As medidas tomadas por Marquês de Pombal visaram uma

resposta imediata à tragédia, mas era também seu objetivo avançar com a reforma da cidade para o futuro, garantindo maior qualidade de vida para a população e segurança face a um outro sismo.

Foi proposta, pelo Marquês de Pombal, a tarefa de reconstrução da cidade a Manuel da Maia, militar e engenheiro da escola de Azevedo Fortes. Na sua dissertação, Manuel da Maia apresenta cinco hipóteses de Urbanismo para a reconstrução da cidade, com base em modelos arquitetónicos e observações sobre segurança de edifícios e higiene das habitações.

As hipóteses consideradas e apresentadas são:

- 1ª - Reconstrução da cidade como era antes, os edifícios seriam construídos com a mesma altura e as ruas teriam a mesma largura;
- 2ª - Reconstruir os edifícios mantendo a sua altura, mas aumentando a largura das ruas;
- 3ª - Limitar a altura dos edifícios a três pisos e aumentar a largura das ruas estreitas;
- 4ª - Arrasar a parte baixa da cidade e usar os escombros para corrigir o declive do terreno, em que a largura das ruas seria igual à altura dos edifícios;
- 5ª - Construir uma nova cidade em Belém, deixando a antiga abandonada.

Após a apresentação das cinco propostas possíveis para a reconstrução da cidade, Manuel da Maia analisou as respectivas vantagens e desvantagens, e para cada hipótese foi considerada a questão económica, à qual estava associado o interesse dos proprietários dos terrenos que poderiam interferir no novo plano e que não pretendiam perder rendimentos. A decisão caiu sobre a 4ª hipótese, a de se arrasar a antiga cidade e sobre os escombros reconstruir uma nova, em que o modelo adoptado proibia as obras de iniciativa particular e os proprietários eram obrigados a seguir o plano de reconstrução geral, sendo esta a que melhor preparava a cidade para o futuro.

Em seguida, Manuel da Maia organizou três equipas de Engenheiros militares, e a cada uma foram encomendadas duas propostas de urbanização da cidade. A 1ª proposta tinha de obedecer a traçados regulares a demarcarem os quarteirões, propondo uma maior articulação entre o Terreiro do Paço e o Rossio, enquanto que na 2ª proposta foi dada maior liberdade às equipas para pensar em novas soluções.

Das seis plantas traçadas pelos colaboradores de Manuel da Maia, foi escolhida em 1758 a do arquitecto do senado da cidade, o capitão Eugénio dos Santos, que chefiou os trabalhos até 1760, altura em que faleceu e foi substituído pelo engenheiro e arquitecto húngaro imigrado em Portugal, Carlos Mandel, fig. 2.17 [26, 30, 33, 61].

O plano de Eugénio dos Santos era o mais inovador, sensato e ponderado e consistia num traçado de ruas ortogonal que enquadrava o novo Terreiro do Paço e a praça do Rossio. No entanto, a nova malha

em quadrícula deveria ser rica e harmoniosa, com a dimensão e nobreza dos edifícios a variar em função do terreno de suporte e da sua localização privilegiada.



Fig. 2.17 – Planta da baixa pombalina, correspondente ao plano de reconstrução de Lisboa depois do terramoto de 1755 [Museu da cidade]

Da cidade medieval de ruas estreitas passou-se para um traçado de linhas rectilíneas em que os edifícios tinham todos a mesma altura. De toda esta reconstrução teve origem um estilo muito próprio de arquitectura, denominado de “estilo pombalino”, considerado inovador pelo seu sistema anti-sísmico e pelo seu método de construção em grande escala pré-fabricado.

Os edifícios pombalinos são geralmente constituídos por cinco andares. O rés-do-chão, normalmente utilizado para actividades destinadas ao comércio (estando as mais nobres nos edifícios localizados nas ruas principais e as mais modestas nos edifícios das ruas secundárias) e os restantes pisos de habitação, sendo o primeiro mais nobre e o quarto menos nobre e através de águas furtadas, fig. 2.18.



Fig. 2.18 – Edifícios pombalinos em Lisboa

Em toda a Baixa Pombalina, a solução estrutural caracteriza-se pelos primeiros pisos abobadados e suportados por arcarias de alvenaria de tijolo maciço ou vigamentos de madeira que se repetem desde o piso térreo, pela ortogonalidade interior bidirecional através das paredes de frontal, e unidirecional nas paredes paralelas à fachada principal.

Em relação à tipificação das fachadas, estas eram compostas por uma geometria regular e monótona, com elementos uniformes e constantes desde os elementos interiores aos elementos exteriores. As fachadas apresentavam grande racionalidade e rigor, simples e sem decorações ou adornos. As fachadas são constituídas pelo embasamento, o corpo do edifício e o coroamento. O embasamento é constituído pelo rés-do-chão, o piso comercial por excelência, em que todos os vãos têm molduras em pedra, o arranque da moldura inicia-se ao nível do solo, é feito com soco alto e o final do embasamento é marcado com uma faixa em pedra. O corpo do edifício é composto por três andares elevados, o primeiro andar, considerado o andar nobre, onde as aberturas dos vãos para a rua apresentam varandas individuais, com janelas de sacada e gradeamento em ferro, seguindo-se de dois pisos com janelas de peito. Finalmente, o coroamento é composto pelo telhado e águas furtadas [26].

Relativamente às paredes típicas da construção pombalina, as que constituem o rés-do-chão são em alvenaria de pedra, enquanto que as dos pisos superiores são de diferentes tipos, as paredes exteriores têm constituição semelhante ao piso térreo e prolongam-se até ao beirado, as paredes interiores podem ser de frontal, fig. 2.19, constituídas por madeira e pedra, formando uma alvenaria mista, ou de tabique, fig. 2.20, constituídas apenas por madeira.

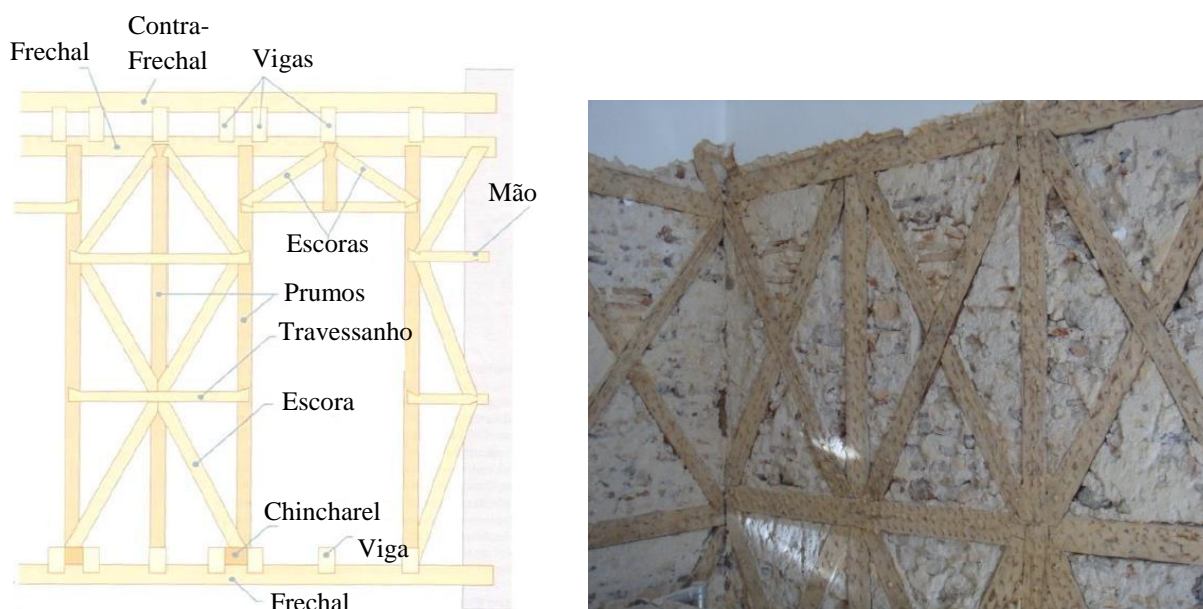


Fig. 2.19 – Representação esquemática de parede de frontal [1] e fotografia recolhida do edifício estudo de caso

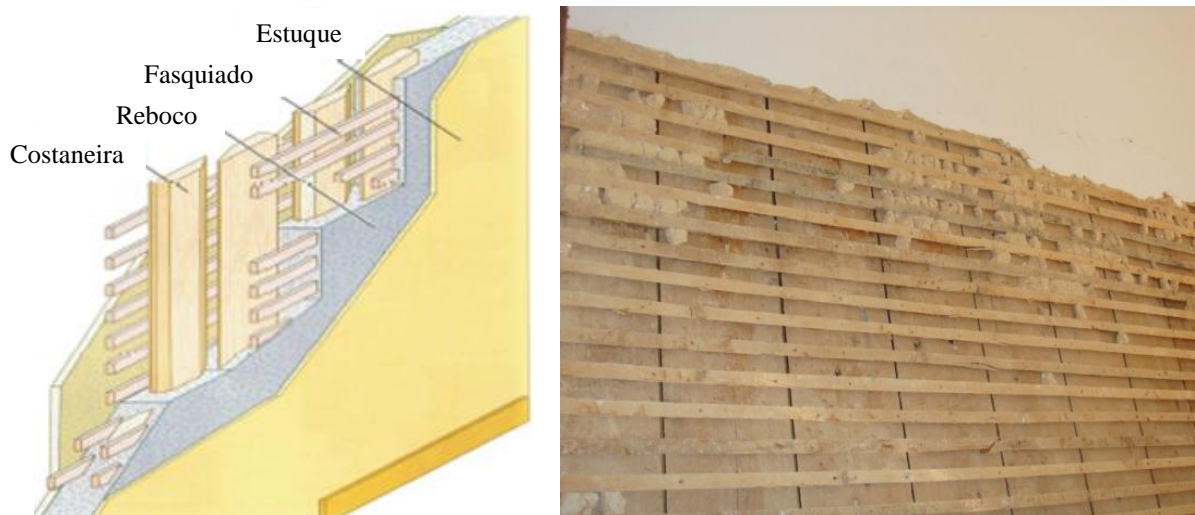


Fig. 2.20 – Representação esquemática de parede de tabique [1] e fotografia recolhida do edifício estudo de caso

Quanto aos pavimentos de madeira, a sua estrutura organiza-se colocando as vigas paralelamente. Nos edifícios pombalinos, as vigas têm uma largura de cerca de 0,15 m e um afastamento entre 0,20 m a 0,40 m.

A execução do vigamento do pavimento decorria em simultâneo com construção da gaiola, o vigamento era assente sobre os frechais. A ligação entre as vigas de suporte do sobrado e o frechal era realizada através de pregos cujo comprimento variava em função da altura da viga. Posteriormente eram colocadas as tábuas do sobrado, perpendiculares às vigas, o soalho era aplicado a meio fio ou meia madeira, com os topos desencontrados, ou em alternativa optava-se por uma solução simplificada sem encaixe, o soalho de junta e mais tarde pelo sistema macho-fêmea [32, 46].

O soalho, na construção pombalina, é constituído por pranchas de pinho com uma grande espessura, superior a 3 cm, e largura de 16 cm, fig. 2.21.



Fig. 2.21 – Pavimento em soalho constituído por pranchas de madeira

Relativamente às escadas, presentes nos edifícios Pombalinos, ganham uma nova expressão face às “escadas de tiro”, fig. 2.22, utilizadas na maioria dos edifícios anteriores ao terramoto. São geralmente formadas por dois lanços, de estrutura em madeira, com excepção do piso térreo, normalmente em alvenaria, com degraus em pedra.

Existem diversos tipos de escadas, quanto ao sistema construtivo, que se podem encontrar nestes edifícios [2, 33]:

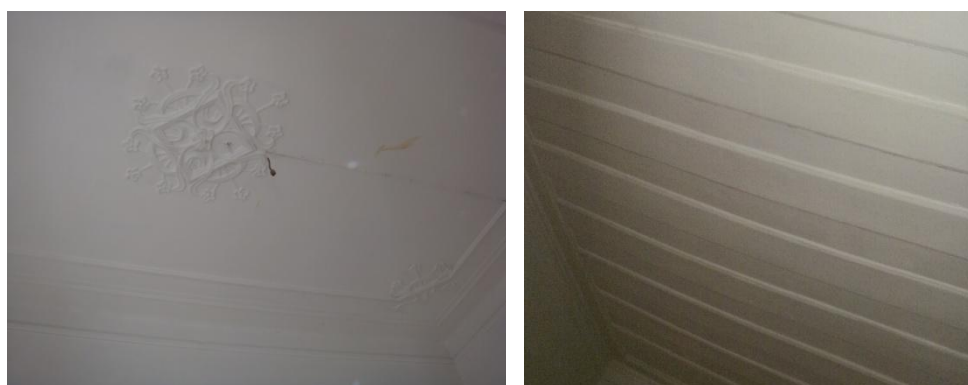
- Escada que se desenvolve ao longo de uma parede, apoiando-se os lanços e os patamares na estrutura desta;
- Escada com desenvolvimento à volta de uma bomba, fig. 2.22;
- Escada de três lanços e dois patamares intermédios por piso;
- Escada em leque;



Esquerda: escada de tiro [72]; Direita: escada com desenvolvimento em torno da bomba

Fig. 2.22 – Exemplos de escadas de edifícios pombalinos

Os tectos típicos são constituídos por pranchas de madeira, formando uma estrutura de saia-camisa ou nalguns casos encontram-se tectos de estuque trabalhado sobre fasquiado de madeira, fig. 2.23.



Esquerda: tecto em estuque trabalhado; Direita: tecto com estrutura saia-camisa

Fig. 2.23 – Exemplos de tectos de edifícios pombalinos

As claraboias constituíam um elemento de extrema importância para a iluminação da caixa de escadas, fig. 2.24. Estas eram construídas acima do telhado numa extensão em altura da estrutura da caixa de escadas, e revestidas pelo exterior por chapas metálicas. Os vidros eram fixos à estrutura metálica através da utilização de chumbo, uma vez que este material tolera a dilatação térmica do vidro [33].



Fig. 2.24 – Clarabóia para iluminação de caixa de escadas [77]

As coberturas de edifícios Pombalinos são, na sua generalidade, de duas águas (com excepção dos edifícios de gaveto que têm quatro águas), com uma estrutura simples em madeira, através de um sistema composto por asnas, madres, varas, ripados, entre outros elementos. O revestimento era assegurado através de telhas cerâmicas do tipo “canudo” ou “lusas”, fig. 2.25.



Fig. 2.25 - Telhas cerâmicas do tipo “canudo”

As coberturas são normalmente aproveitadas para habitação, através da instalação de trapeiras (ou águas-furtadas) ou mansardas.

Designa-se por água-furtada ou trapeira o andar situado imediatamente abaixo do telhado, com o interior inclinado junto às paredes das fachadas. Estes andares recebem a luz e o ar pelas janelas

existentes na frente vertical de cantaria ou alvenaria, ou na superfície oblíqua da cobertura. No entanto, o espaço habitável das trapeiras era reduzido e o acesso às janelas era feito através de um corredor estreito, fig. 2.26 [2, 33, 42].



Esquerda: trapeira vista pelo exterior [37]; Direita: trapeira vista pelo interior

Fig. 2.26 – Cobertura com trapeiras (águas furtadas)

As mansardas, que surgiram posteriormente às trapeiras, otimizavam mais o espaço, permitindo um melhor aproveitamento do vão da cobertura. A mansarda corresponde à trapeira quando o telhado deixa de ter secção triangular e se apresenta com disposição à Mansard, em homenagem ao Arquitecto francês que a vulgarizou.

Muito utilizada em edifícios antigos, prestava-se a várias decorações, possuindo junto às paredes um pé-direito (superior ao de uma trapeira vulgar) habitável em toda a extensão da cobertura e permitindo um fácil acesso aos vãos, fig. 2.27.



Fig. 2.27 – Cobertura com mansardas

As varandas típicas dos edifícios Pombalinos definem um sistema monótono e de perfil simples, ao nível do primeiro piso, piso nobre, a varanda surge não como uma regra rígida mas pontualmente, consoante as ruas principais e secundárias, conforme os traçados originais o demonstravam.

Nos edifícios da baixa Pombalina, as janelas que compõem a fachada no primeiro piso elevado são janelas de sacada, enquanto as janelas que compõem os restantes pisos são de peitoril, fig. 2.28.



1 - janela de peitoril; 2 - janela de sacada

Fig. 2.28 – Janelas características de edifícios pombalinos

Os azulejos permitiam obter composições de variadas dimensões, reunidos nas superfícies a decorar, sobretudo em escadas e lambris. A decoração dos azulejos foi simplificada e geralmente apresentava dois tipos de desenhos, uma flor estrelada azul, fig. 2.29, ou uma aspa amarela, carregada com uma flor mais pequena, em forma de cruz, ao estilo rocaille [26].



Fig. 2.29 – Azulejos típicos pombalinos

Os planos de construção idealizados por Manuel da Maia foram, ao longo dos anos, perdendo algumas das características inicialmente defendidas. Os acrescentos de mais um piso e a simplificação dos edifícios relativamente aos projectos originais, foram o resultado de um cair no esquecimento de tamanha tragédia sofrida e da perda do racionalismo que se pretendia que dominasse a construção.

Apesar de tudo, a “gaiola”, estrutura de madeira que forma o esqueleto do edifício, é a principal característica do edificado pombalino e surge como uma solução engenhosa para a necessidade de construir em altura, otimizar a flexibilidade e capaz de resistir aos sismos. A estrutura em “gaiola” iniciava-se no piso térreo e tinha continuidade ao longo dos restantes pisos até à cobertura.

A técnica construtiva desta estrutura, consiste num “jogo” de elementos de madeira horizontais, verticais e diagonais. Surge como base de construção e perdura durante mais de um século sem alterações de maior, fig. 2.30.



Fig. 2.30 – Gaiola tridimensional de madeira, característica da reconstrução pombalina de Lisboa, após o terramoto de 1755 [42]

Embora existam registos de construção pombalina (núcleos pombalinos) em: Manique do Intendente, Lisboa, Porto Covo e Vila Real de Santo António, fig. 2.31, no contexto da presente dissertação e tendo em conta o estudo de caso a realizar, dá-se principal atenção à construção pombalina da baixa de Lisboa.



(a)



(b)



(c)



(d)

(a) – Edifício em Manique do Intendente [56]; (b) – Edifícios em Lisboa; (c) – Edifícios em Porto Covo [56];
(d) – Edifícios em Vila Real de Santo António [56]

Fig. 2.31 – Imagens de edifícios do núcleo pombalino

CAPÍTULO 3

PRINCIPAIS ANOMALIAS E MÉTODOS DE INSPECÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS COM PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA

3.1 – Considerações gerais

Tendo presente a vulnerabilidade das construções de edifícios antigos, sintetiza-se neste capítulo as principais anomalias estruturais, em fundações, paredes e pavimentos. Estas, podem ter origem devido a causas humanas ou naturais, acções mecânicas, químicas e biológicas.

Em primeiro lugar, interessa referir que uma das principais causas das anomalias em edifícios antigos é natural e prende-se com o envelhecimento inevitável dos próprios materiais. Um edifício de habitação é projectado e construído para uma vida média de 50 anos, idade que já está ultrapassada em qualquer edifício antigo, pelo menos de acordo com a definição anteriormente referida, já que os anos 40 do século XX são já do domínio da construção moderna, em que o cimento e o betão são os materiais distintivos.

A par das anomalias que estas construções possam apresentar, por falta de manutenção e conservação, regra geral, é necessário efectuar a sua reabilitação. A Engenharia Civil tem sofrido ao longo das últimas décadas uma grande evolução técnica e científica, exigindo uma constante actualização dos conhecimentos relativamente às novas tecnologias e instrumentos utilizados, com o objectivo de garantir a boa prática da reabilitação nas construções, assim como o conhecimento das soluções passíveis de serem aplicadas em cada caso, tanto na sua concepção e definição na fase de projecto, como na sua aplicação em fase de obra.

Relativamente aos métodos de diagnóstico de anomalias, estes são uma ferramenta essencial para a escolha das soluções construtivas a utilizar na reabilitação de edifícios antigos. Esta reabilitação, actualmente em expansão, tem diversas vantagens económicas, sociais, ambientais, históricas e culturais.

Uma das condições prévias a uma boa solução de reabilitação é, assim, a correcta identificação das soluções construtivas dos edifícios antigos, bem como das anomalias que apresentam, o que requer um adequado conhecimento dos meios de diagnóstico existentes e do seu campo de aplicação. Para este diagnóstico, podem ser realizados ensaios *in situ*, através de métodos preferencialmente não-destrutivos, embora por vezes seja necessário o recurso a métodos semi-destrutivos ou até mesmo destrutivos.

Muitas vezes, torna-se necessário utilizar dois ou mais métodos de ensaio no mesmo elemento construtivo, de forma a complementar ou confirmar o diagnóstico. A informação adquirida com os métodos utilizados pode também ser complementada com ensaios laboratoriais efectuados nas amostras recolhidas. Posteriormente à conclusão do diagnóstico, deve proceder-se à interpretação dos resultados obtidos, de modo a que, em fase de projecto, seja seleccionada a melhor forma de reabilitar o edifício.

3.2 - Principais anomalias estruturais de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra

As anomalias estruturais das construções de alvenaria ordinária ocorrem quando as tensões provocadas por uma ou mais acções excedem a resistência dos materiais em zonas significativas, devido ao aumento das acções ou diminuição da resistência, sendo tanto maiores quanto pior é a qualidade da construção. Estas agravam-se com o número de alterações estruturais realizadas ao longo do tempo, das quais se destacam: a remoção de paredes resistentes (ou mestras) e de paredes divisórias; o corte de vigas do pavimento para introdução de canalizações de água, esgotos, electricidade, gás, etc.; o aumento geral da massa das construções por substituição de pavimentos de madeira por lajes de betão armado e o aumento do número de pisos [44, 45].

Uma das anomalias estruturais mais frequentes nas construções de alvenaria em geral, e nas de alvenaria ordinária em particular, é a fendilhação em paredes e fundações, causada pelo efeito individual ou associado das seguintes acções: acção sísmica, assentamento diferencial de fundações (com desvios de verticalidade das paredes), vibrações resultantes do tráfego rodoviário de veículos pesados, efeitos de remodelações interiores mal concebidas (muitas vezes com remoção de elementos resistentes).

A fendilhação por corte ou flexão no plano da parede apresenta padrões de fendas verticais, horizontais e inclinadas, em especial junto aos cantos das aberturas [45].

Seguidamente faz-se um resumo da anomalia referida e de outras também frequentes nos edifícios antigos, identificando-se as respectivas causas e características.

3.2.1 – Principais anomalias estruturais de fundações de edifícios antigos

As principais anomalias em fundações de edifícios antigos podem ser originadas devido a duas causas:

- Alterações ou movimentos do terreno;
- Aumento das cargas.

Os erros construtivos, a degradação dos próprios materiais constituintes das fundações (o apodrecimento das cabeças de estacas em madeira, a corrosão de peças metálicas de reforço ou ligação, ou a perda das camadas de materiais finos em fundações de alvenaria), conduzem à diminuição da sua capacidade resistente.

Alterações ou movimentos do terreno

As alterações e movimentos do solo de fundação podem dever-se a escavações ou construções próximas, a abertura de túneis ou galerias, acção de raízes, existência de terrenos heterogéneos, alterações do nível freático ou do teor de humidade (quer resultante da actividade humana, quer de forma natural), rotura de canalizações de águas ou de esgotos na proximidade e liquefação do solo devido à acção sísmica [50].

As deformações resultantes de um assentamento diferencial de fundações podem induzir fendilhação e alterações geométricas importantes nas alvenarias antigas, como deformação de vãos, desnivelamento dos pavimentos, desaprumo das paredes, deformações, fracturas de paredes, etc., fig. 3.1. As distribuições das cargas podem, eventualmente, ser alteradas e nos casos mais graves, comprometer a estabilidade da estrutura [52].



Fig. 3.1 – Deformação resultante de movimentos de terras [1]

Aumento das cargas

O aumento das tensões na fundação pode resultar do incremento das cargas de utilização (resultantes de diferentes usos, ou acrescentos no edifício), ou alterações da estrutura.

As alterações da estrutura passam pelo acréscimo de pisos, que causa aumento de cargas de fundações e o enfraquecimento da base de edifícios, e pela abertura de montras para comércio, onde é eliminada a continuidade dos nembos de alvenaria ao nível do piso térreo, fig. 3.2 [50].



Fig. 3.2 – Eliminação de nembos para abertura de montra

3.2.2 – Principais anomalias estruturais de paredes de edifícios antigos

As principais anomalias em paredes de edifícios antigos, sintetizam-se seguidamente [44]:

- Fendilhação
- Desagregação
- Esmagamento
- Anomalias resultantes da acção da água
- Desconforto térmico
- Anomalias resultantes da acção de agentes biológicos
- Oxidação de elementos metálicos
- Envelhecimento e falta de manutenção dos materiais

Fendilhação

A fendilhação é uma das principais anomalias em paredes de edifícios antigos cujo aparecimento é frequente junto a aberturas para portas e janelas ou na ligação de paredes ortogonais, principalmente nos cantos, onde ocorrem concentrações de tensões que estão na origem do início e progressão do fenómeno de fendilhação, fig. 3.3.

Esta anomalia permite identificar as zonas onde ocorrem os assentamentos e a sua existência pode estar associada a erros de construção (ausência de perpianos) provocando fendilhação vertical; assentamentos; abatimento de arcos de descarga, provocando fendas horizontais e deficiente funcionamento de asnas de cobertura (pode provocar impulsos laterais e flexão da parede).

A fendilhação de índole estrutural está associada a acções que geram esforços para os quais o material não tem capacidade resistente (à tracção e à flexão). Exemplo dessas acções são os assentamentos diferenciais das fundações, a falta de continuidade de alguns alinhamentos de paredes interiores e o apodrecimento dos elementos de madeira que fazem parte da estrutura das paredes.

A fendilhação é agravada na presença da água e na ausência de lintéis superiores adequados. A forma como esta anomalia progride, a formação de uma ou várias fendas e a amplitude da sua abertura, dependem de numerosos factores, entre os quais decerto será preponderante a constituição e qualidade das próprias alvenarias.

Em casos mais graves, que podem preceder com pouca antecedência o colapso das paredes, as fendas dividem a parede em vários blocos quase independentes cuja ligação se faz apenas por atrito ao longo das superfícies de contacto.



Fig. 3.3 - Fendilhação em parede de alvenaria de pedra, Igreja Matriz de Mértola [77]

Desagregação

A desagregação é uma anomalia que pode ser agravada pela existência de fendilhação de paredes. Usualmente está associada a processos de infiltrações e acção da água (chuva, capilaridade, condensação), fig. 3.4.

Esta anomalia é também influenciada pela alternância de calor e frio, com contracções e expansões sucessivas; poluição; ausência de conservação/manutenção e presença de pedras brandas e de má qualidade.

Esta situação é mais frequente em paredes exteriores e mais grave ao nível do r/chão dos edifícios, sinal dos problemas de ascensão capilar e da água das chuvas, e do fácil acesso que permite intervenções humanas de vandalismo ou choques acidentais que contribuem para o agravamento.

Como consequência da desagregação, as características mecânicas das alvenarias podem ser alteradas, nomeadamente na resistência à compressão e ao corte.



Fig. 3.4 – Desagregação da alvenaria

Esmagamento

O esmagamento é uma anomalia menos frequente e que surge principalmente devido a cargas concentradas excessivas, sendo o seu fenómeno considerado localizado e coincidente com pontos de aplicação de cargas concentradas excessivas, fig. 3.5.

O seu aparecimento é característico em zonas de contacto entre vigas de madeira e a alvenaria: a torção devida à secagem da madeira origina grandes compressões localizadas.



Esquerda: representação esquemática de esmagamento por excesso de carga vertical; Direita: imagem de esmagamento por torção por secagem da viga

Fig. 3.5 – Possibilidades de esmagamento de paredes de alvenaria de pedra [1]

Anomalias resultantes da acção da água

A água é o principal agente causador da desagregação das paredes, dado que as humidades infiltradas procuram e encontram os pontos mais fracos (fendas e vazios), criando depois uma rede de percursos preferenciais, normalmente através das juntas de argamassa de assentamento das pedras ou tijolos.

Por outro lado, a água que ascende por capilaridade nas fundações e paredes vai dissolvendo ao longo do seu trajecto os sais solúveis provenientes do solo ou das argamassas e demais elementos que constituem a alvenaria, alterando a estrutura da parede, fig. 3.6, que vai ficando cada vez mais rica em sais dissolvidos, até que as condições de humidade e temperatura ambientes provoquem a sua evaporação, com a cristalização daqueles sais, através de duas formas distintas: à superfície ou entre o reboco e o toco da parede [42].

A acção da água da chuva é particularmente gravosa nas coberturas, sobretudo em infiltrações nas zonas de remate e de caleiras, nas zonas correntes com a quebra de alguma telha, ou seja, quando esta não desempenha completamente a sua função e quando há infiltrações associadas a disfuncionamentos da rede de drenagem de águas pluviais.



Fig. 3.6 – Efeito da acção da água por capilaridade [56]

Desconforto térmico

O desconforto térmico é causado pela ausência ou insuficiência de isolamento térmico nas paredes exteriores, paredes divisórias, pavimentos e coberturas, manifestando-se pela formação de condensações nas partes mais frias das paredes, e posterior surgimento de fungos e bolores, fig. 3.7. O humedecimento da madeira permite a proliferação de fungos de podridão que afectam elementos de parede como frechais, cruces de Sto. André em frontais, pavimentos e coberturas, causando perdas acentuadas de resistência e aumento significativo das deformações de elementos.



Fig. 3.7 – Proliferação de fungos por humedecimento

Anomalias resultantes da acção de agentes biológicos

As anomalias causadas pela acção de agentes biológicos são susceptíveis à variação sazonal da humidade, importante em empenas de edifícios contíguos e são mais grave em paredes resistentes (exteriores) com elementos de madeira. É de destacar a acção dos insectos xilófagos, entre os quais as diferentes espécies de carunchos e térmitas na deteriorização da madeira. O humedecimento das paredes exteriores pode causar o apodrecimento do vigamento e revestimento dos pavimentos, fig. 3.8. A acção de agentes biológicos é uma causa de anomalias que pode ser agravada em paredes atravessadas por redes de águas ou esgotos (tubos de grés).



Fig. 3.8 – Apodrecimento do vigamento e revestimento dos pavimentos causado pelo humedecimento das paredes exteriores

Oxidação de elementos metálicos

A oxidação de elementos metálicos é uma anomalia que é agravada pela ausência de conservação e manutenção dos edifícios. A corrosão do ferro consiste na formação de óxido de ferro, o qual ocupa um volume muito maior do que o metal em si mesmo. O aumento de volume gera a criação de campos de tensões nos rebocos ou nas alvenarias sucedendo-se geralmente o empolamento destes materiais, seguido da sua fendilhação e finalmente, a sua desagregação.

O aparecimento de manchas castanho-avermelhadas nas imediações dos elementos de ferro é indício de que se está a processar um fenómeno de oxidação de elementos metálicos e pode constituir um aviso quanto à necessidade de intervir, a curto prazo, no sentido de interromper a progressão desta anomalia

Esta situação é frequente em varandas e/ou guardas metálicas, fig. 3.9, e em escadas na parte posterior dos edifícios.



Fig. 3.9 – Oxidação de elementos metálicos (em guardas)

Envelhecimento e falta de manutenção dos materiais

O envelhecimento e falta de manutenção dos materiais e elementos constituintes dos edifícios são propícios ao desenvolvimento de muitos problemas. A manutenção é fundamental para um bom funcionamento e durabilidade dos edifícios.

O desgaste e envelhecimento podem ocorrer devido a várias causas, tais como, a acção dos agentes atmosféricos e químicos, uso excessivo, utilização disfuncional, termo de vida útil, causas acidentais, entre outras.

Esta anomalia agrava ao longo do tempo o que provoca o aceleramento do processo de degradação de vários elementos do edifício, fig. 3.10.



Fig. 3.10 – Degradação de vários elementos causada pelo envelhecimento e falta de manutenção dos materiais

3.2.3 – Principais anomalias estruturais de pavimentos de edifícios antigos

As deficiências ou insuficiências do ponto de vista do desempenho estrutural dos pavimentos de madeira dos edifícios antigos estão associadas à sua deformação excessiva quer para fora do seu plano, face às acções verticais decorrentes do uso normal, quer no seu plano, face às acções sísmicas horizontais.

Naturalmente que, em boa medida, essa deformação excessiva pode resultar do facto de a madeira que constitui esses pavimentos estar degradada por ataque de agentes xilófagos ou simplesmente envelhecida, mas por outro lado também resulta das características da madeira e da técnica de execução desses pavimentos.

Face às acções verticais, as deficiências associadas à deformação excessiva dos pavimentos podem ter diversas origens, das quais se destacam [47]:

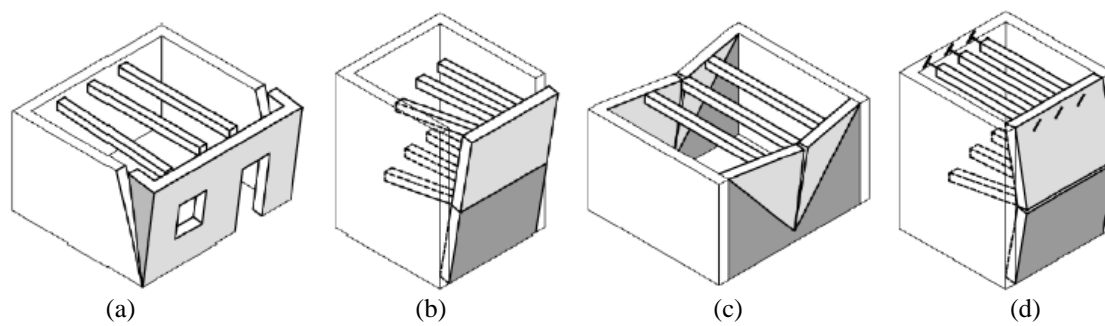
- Insuficiência de secção das vigas por erros ou falta de projeto, não tendo sido previstas as dimensões necessárias para as cargas previsíveis;
- Fluência da madeira;
- Excesso de carga em relação ao previsto para a utilização do edifício (em casos muito particulares, como por exemplo, em zonas que passam a ser utilizadas para fins de arquivo);
- Deterioração das condições de ligação entre a estrutura dos pavimentos e as paredes resistentes, em particular das zonas de apoio das vigas dos pavimentos, normalmente devido à acção da humidade.

Para melhoria das condições estruturais, as soluções que podem ser adoptadas devem ser analisadas perante as situações concretas que se colocam.

As deficiências mais vulgares são as que se relacionam com a deterioração da madeira dos elementos, frequentemente devida à acção da humidade, ou com o comportamento da madeira ao longo do tempo, quer do ponto de vista mecânico, quer do da estabilidade dimensional.

Quando os edifícios são sujeitos a acções sísmicas horizontais, os pavimentos podem ter uma maior ou menor capacidade de distribuição das forças de inércia horizontais pelos elementos verticais, ou seja, as paredes no caso de edifícios antigos. Essa capacidade de distribuição, em que o pavimento funciona como uma membrana ou um diafragma, depende da deformabilidade do pavimento no seu plano e das ligações do pavimento às paredes adjacentes [47].

Sempre que o pavimento não está devidamente ligado às paredes adjacentes, ou a rigidez no plano não é adequada, podem ser observados diferentes mecanismos de colapso, envolvendo as paredes perpendiculares à direcção do sismo, fig.3.11.

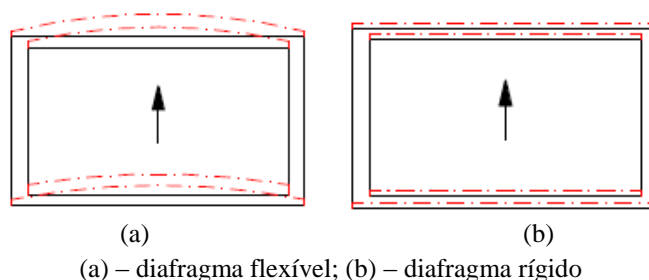


(a, b) – rotação da parede devida a falta de ligação do pavimento às paredes paralelas à acção sísmica;
 (c) – ruptura em flexão de parede devido a impulso de pavimento demasiado flexível; (d) – instabilidade de parede devido ao impulso do pavimento intermédio com falta de ligação às paredes laterais

Fig. 3.11 – Mecanismos de colapso de paredes perpendiculares à direcção do sismo [40]

Conforme a deformabilidade dos pavimentos no seu plano, pode dizer-se que os diafragmas são mais flexíveis ou mais rígidos.

Os diafragmas mais flexíveis impõem nas paredes perpendiculares à direcção do sismo maiores deslocamentos e esforços para fora do seu plano, enquanto os diafragmas mais rígidos mobilizam mais as paredes paralelas à direcção do sismo a absorver esforços no seu plano, fig. 3.12, [47].



(a) – diafragma flexível; (b) – diafragma rígido

Fig. 3.12 – Deformabilidade dos pavimentos [47]

Os pavimentos de madeira existentes em edifícios antigos funcionam em geral como diafragmas flexíveis, mas as características dessa flexibilidade dependem de diversos fatores, principalmente:

- Dimensão do pavimento em planta;
- Dimensão da secção transversal dos vigamentos;
- Distância entre vigas do pavimento;
- Existência ou não de tarugamento;
- Estado de conservação da madeira dos pavimentos, em particular nas zonas em que existe maior risco de se verificar essa degradação, na zona de apoio das vigas;
- Ligação das vigas às paredes que lhes são paralelas;
- Ligação entre os pavimentos e as paredes contíguas, incluindo entrega das vigas nas paredes ou a existência de dispositivos metálicos de contraventamento;
- Natureza da madeira;
- Tipo de interligação entre as tábuas de soalho do revestimento de piso (tábuas justapostas ou com encaixe macho-fêmea).

3.3 – Principais métodos de inspeção e diagnóstico de anomalias em edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra

O diagnóstico nas paredes de alvenaria de pedra é composto por várias fases: a observação preliminar; levantamento geométrico da construção; identificação do funcionamento estrutural do edifício; identificação e monitorização das anomalias e definição dos métodos/ensaios a realizar para a determinação ou identificação das causas.

No presente capítulo faz-se a definição dos principais ensaios a realizar. Estes ensaios utilizam-se como complemento da caracterização física e mecânica das paredes e fundações e também na identificação e calibração de relações constitutivas a usar nos modelos estruturais.

3.3.1 – Métodos de inspeção e diagnóstico de anomalias de fundações de edifícios antigos

Relativamente às fundações, o principal método de diagnóstico de anomalias é:

- Execução de poços de sondagem
- Sondagens geotécnicas em profundidade

Poços de sondagem

Ao nível das fundações, o principal método de inspeção e diagnóstico de anomalias é a execução de poços de sondagens, fig. 3.13. Estes poços, que devem ser entivados, no caso de haver a necessidade de suportar o terreno aquando da escavação, permitem uma observação visual das características dos materiais, recolha de amostras (para eventual caracterização física, química e mecânica em laboratório), medição de fissuras ou assentamentos, identificação do tipo de fundação e levantamento dimensional [45, 11].

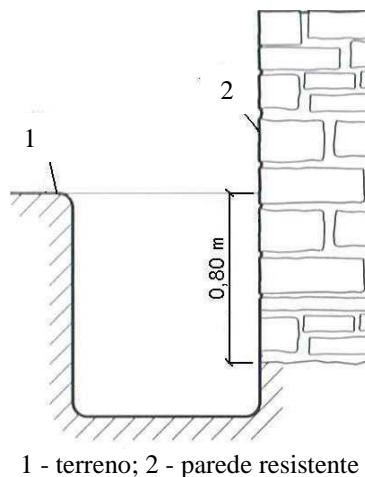


Fig. 3.13 – Representação esquemática de um poço de reconhecimento [adaptado de 17]

Sondagens geotécnicas em profundidade

As sondagens em profundidade têm por finalidade verificar a natureza do solo, a espessura das diversas camadas, a profundidade e a extensão da camada mais resistente que deverá receber as cargas da construção, e determinar o tipo da estrutura de fundação a ser especificada. Dependendo do tipo solo, a sondagem deverá utilizar o melhor processo que forneça indicações precisas, sem deixar margem de dúvida para interpretação e que permitam resultados conclusivos, indicando claramente a solução a adotar.

A sondagem mais executada em solos penetráveis é a sondagem geotécnica à percussão, de simples reconhecimento, também conhecida por SPT (Standart Penetration Test). É um ensaio de penetração dinâmico, que consiste em cravar no fundo de um furo de sondagem, devidamente limpo, um amostrador padrão, fig. 3.14 [77, 78].

O ensaio SPT é realizado de acordo com a seguinte metodologia:

- Executar o ensaio a cada metro, a partir de 1,0 m de profundidade da sondagem, ou conforme especificação da fiscalização;
- O fundo do furo deve estar devidamente limpo;

- Cravação do amostrador, através do impacto de um pilão com aproximadamente 65 kg, em queda livre de uma altura de 75 cm sobre a composição de hastes;
- O amostrador deve ser apoiado suavemente no fundo do furo. Em seguida, assinalam-se a giz, na porção de haste que permanecer fora do revestimento, três troços de 15 cm cada um, referidos a um ponto fixo do terreno. Posteriormente, o pilão deve ser cuidadosamente apoiado sobre o conjunto de hastes, anotando-se a eventual penetração observada. A penetração obtida desta forma corresponde a zero golpes;
- Inicia-se a cravação do amostrador através da queda livre do pilão. Cada queda do pilão corresponde a 1 golpe, e serão aplicados tantos golpes quantos os que forem necessários à cravação de 30 cm do amostrador, atendendo a que nunca se devem exceder as 60 pancadas. Deve ser anotado o número de golpes e a penetração em centímetros para a cravação de cada terço do amostrador. Caso ocorram penetrações superiores a 15 cm, estas devem ser anotadas, não se fazendo aproximações. Após o término de cada ensaio SPT, prossegue-se a sondagem empregando o trado, até à profundidade do novo ensaio;
- O valor da resistência à penetração consiste no número de golpes necessários à cravação nos 30 cm finais do amostrador;
- A cravação do amostrador deve ser interrompida quando se tiver penetração inferior a 5 cm após 10 golpes consecutivos, não se computando os 5 primeiros golpes do teste, ou quando o número de golpes ultrapassar os 60 num mesmo ensaio. Nestas condições o material será considerado impenetrável ao SPT, devendo ser anotados o número de golpes e a penetração respectiva;
- As informações obtidas no ensaio deverão ser transcritas para o boletim de sondagem;
- Este procedimento é repetido de metro a metro: retira-se o amostrador, avança-se a perfuração até ao próximo metro e volta-se a coloca-lo, depois de limpo, apoiado no fundo do furo, sem atrito lateral, para a próxima medição [74, 75, 76].

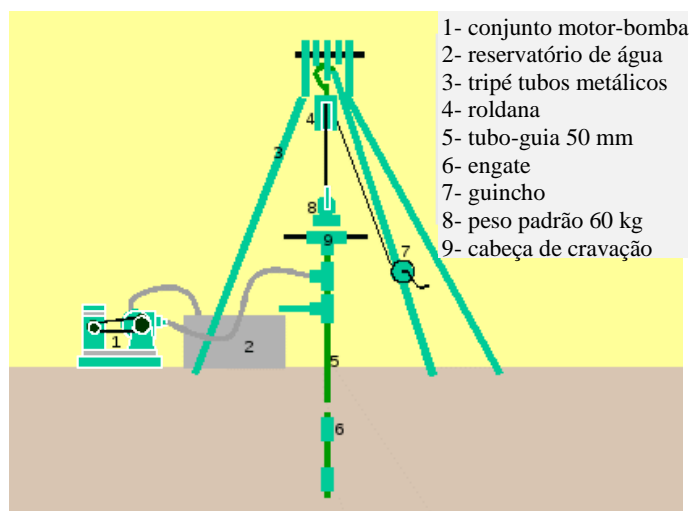


Fig. 3.14 – Representação esquemática do ensaio à percussão [74]

Os resultados obtidos através da sondagem à percussão SPT deverão ser apresentados sobre a forma de relatório técnico, fig. 3.15.

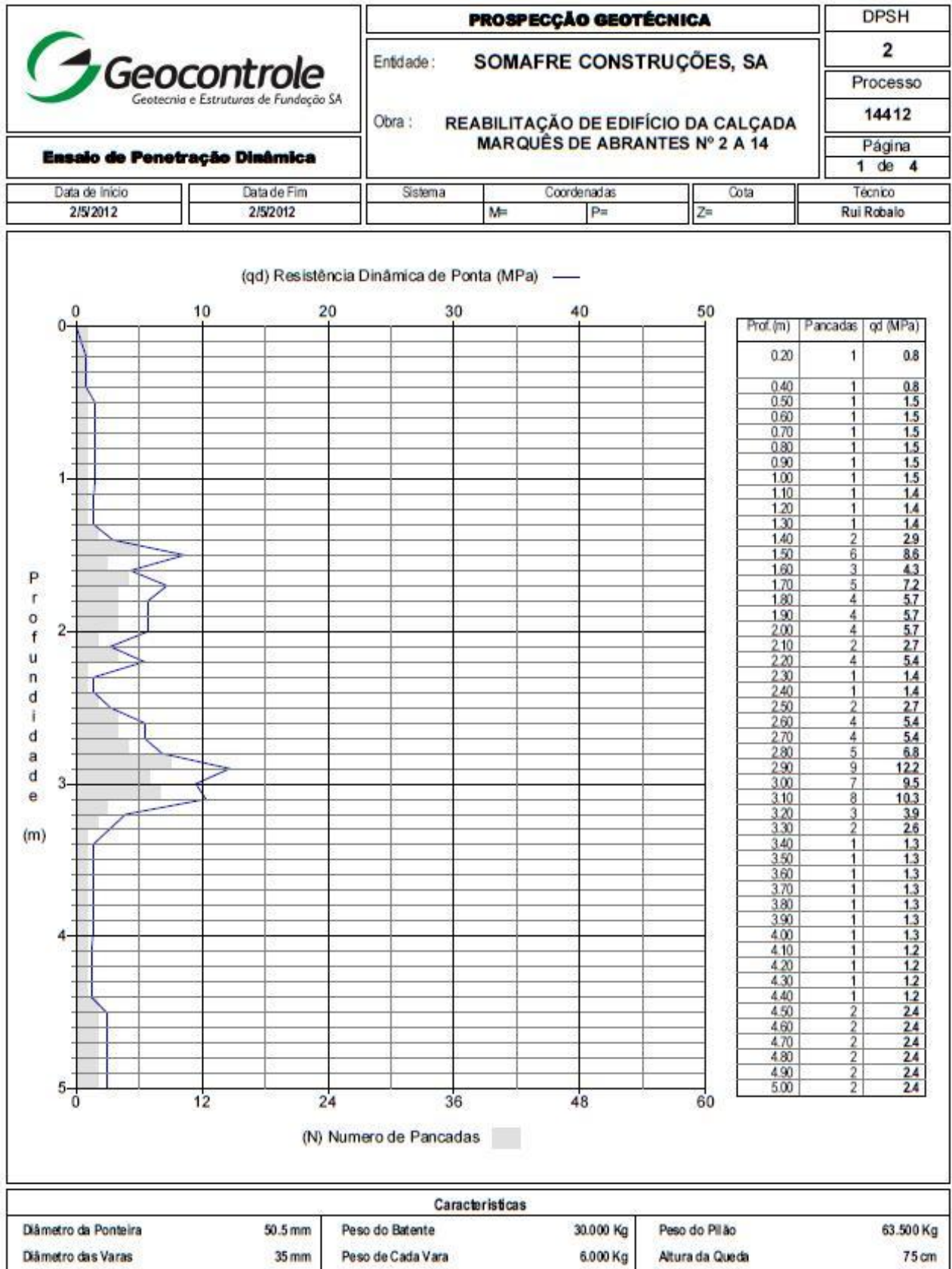


Fig. 3.15 – Exemplo de relatório de um ensaio “Standart Penetration Test” (SPT) da obra acompanhada

3.3.2 – Métodos de inspecção e diagnóstico de anomalias de paredes de edifícios antigos

Ao nível das paredes, existem diversos métodos de diagnóstico, que se podem classificar em:

- Métodos não-destrutivos
- Métodos semi-destrutivos
- Métodos destrutivos

Destes ensaios sintetizam-se em seguida os mais relevantes segundo a sua classificação e designação.

Métodos não-destrutivos

Os ensaios não-destrutivos caracterizam-se por não terem uma acção invasiva ou destrutiva no elemento a inspecionar e permitem obter alguns parâmetros qualitativos para caracterizar o comportamento dos materiais que o constituem, e até mesmo detectar anomalias ocultas, que só poderiam ser conhecidas através de ensaios mais ou menos destrutivos.

Os principais métodos não-destrutivos são:

- Termografia
- Ultra-sons e tomografia sónica
- Radar de prospecção geotécnica (GPR)
- Estetoscopia

- Termografia

A termografia baseia-se no princípio de que todos os corpos emitem radiação térmica. Pode ser classificada em passiva ou activa.

Na termografia passiva, a parede não é submetida a qualquer excitação térmica artificial. Pelo contrário, na termografia activa é efectuada uma estimulação térmica na parede através de projectores de luz ou outros sistemas geradores de calor [21, 32, 36].

O equipamento utilizado para o ensaio termográfico é uma câmara termográfica sensível à radiação infravermelha onde possibilita a elaboração de um termograma (emissividade dos materiais) da superfície da parede de alvenaria; em edifícios antigos permite a identificação de vários materiais constituintes das paredes, assim como a presença ou inexistência de humidade, fig. 3.16 [46, 63].

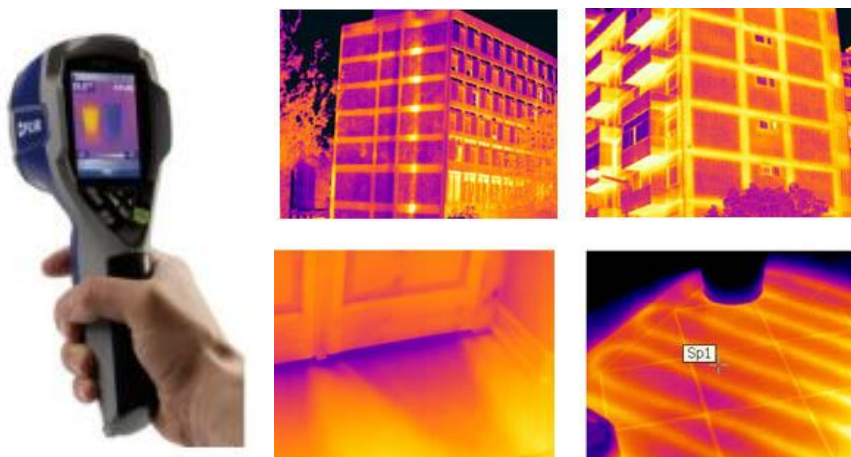


Fig. 3.16 – Câmara termográfica e respectiva termografia [63, 65]

- Ultra-sons e tomografia sónica

O ensaio de ultra-sons (cross hole) consiste na geração de um impulso ultra-sónico num ponto da estrutura, sendo o sinal captado por um receptor noutra ponto.

Este ensaio permite detectar as discontinuidades existentes, e o princípio de funcionamento baseia-se na relação entre a velocidade de propagação dos ultra-sons pelos materiais e as suas características mecânicas, tendo como objectivo medir o tempo (e a velocidade) que os impulsos demoram a percorrer dois pontos na parede, fig. 3.17 [9, 10, 21, 45].



Fig. 3.17 – Aparelho e disposição do ensaio de ultra-sons [66]

A técnica de ensaio de tomografia sónica vem na sequência do ensaio de ultra-sons. A principal diferença entre os dois ensaios é a maior complexidade da tomografia na análise e processamento dos dados relativamente ao ensaio de ultra-sons.

Esta consiste na transmissão de ondas sónicas aos materiais, em várias direcções, obtendo-se um mapa pormenorizado da distribuição da velocidade do som numa secção plana da estrutura, fig. 3.18.

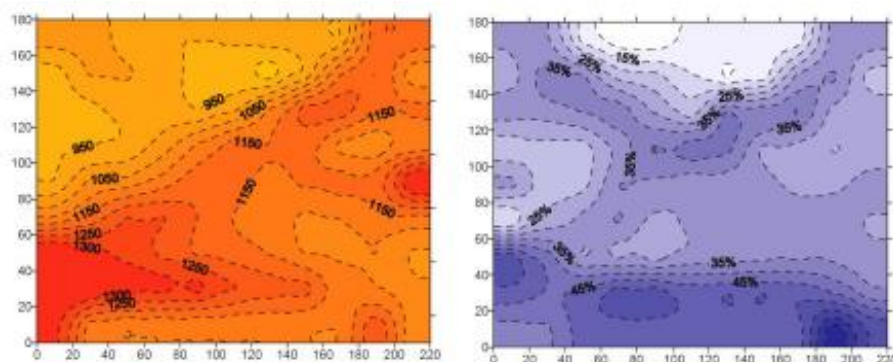


Fig. 3.18 – Tomografia de uma parede de alvenaria antes e depois da injeção de grout [58]

O equipamento utilizado na execução do ensaio é o suporte para tomografia e o gerador de onda de tensão de baixa frequência (martelo instrumentado ou um impactador calibrado) e acelerómetro receptor. A tomografia sónica é um método adequado para a obtenção e análise de informações qualitativas no interior da alvenaria, nomeadamente, detecção de diferentes materiais, presença de vazios e cavidades. Este ensaio é ainda muito útil na avaliação da eficácia de injeções de consolidação das paredes de edifícios antigos [5, 9, 10, 17, 21, 48, 57, 59].

- Radar de Prospecção Geotécnica (GPR)

O ensaio de radar de prospecção geotécnica é baseado na utilização de ondas electromagnéticas de alta-frequência emitidas através de impulsos curtos. Provém da tecnologia militar e foi inicialmente utilizado na prospecção geológica, mas tem também aplicação no estudo das anomalias em paredes.

Esta técnica é essencialmente usada para localizar as superfícies de separação entre materiais, através do contraste entre as suas características dieléctricas. O seu funcionamento consiste na emissão de impulsos electromagnéticos de curta duração e alta voltagem, através de uma antena emissora, e na leitura dos ecos gerados, sendo ambos registados pela antena emissora num traço que equivale à amplitude do sinal em função da profundidade, fig. 3.19. Este registo sucessivo ao longo da direcção de investigação origina um radargrama [5, 23, 24, 53].



Fig. 3.19 – Sistema de Radar de Prospecção Geotécnica, incluindo unidade de controlo, gerador de sinal e duas antenas [23, 56]

- Estetoscopia

O ensaio de estetoscopia é útil para diferenciar a presença de diferentes materiais numa parede de alvenaria e averiguar se o revestimento se encontra separado do suporte.

Neste método os materiais utilizados são um estetoscópio e um martelo de geólogo. Auscultando a parede com o estetoscópio e à medida que se vai percutindo com o martelo é possível, com base no tipo de ressonância ouvida, identificar a madeira ou a alvenaria no interior da parede mista (parede de alvenaria e madeira), fig. 3.20 [13, 21, 45, 52].

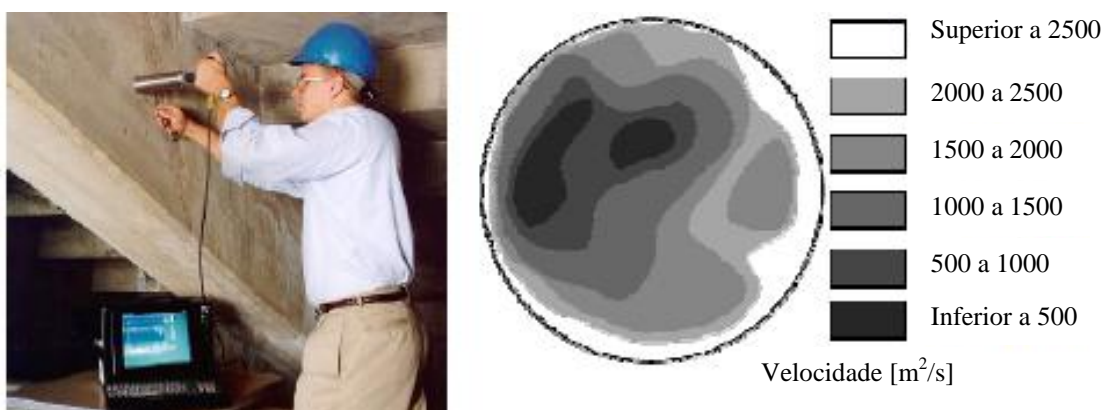


Fig. 3.20 – Velocidade de propagação do som num elemento estrutural [70]

Métodos semi-destrutivos

Os ensaios semi-destrutivos criam algumas perturbações nos elementos, nomeadamente ligeira destruição das alvearias (pequenos rasgos ou orifícios), mas permitem dar uma informação mais real e detalhada, relativamente aos ensaios referidos anteriormente, do interior das paredes.

As acções destrutivas devem ser minimizadas, evitando marcas significativas nas superfícies.

Os principais métodos semi-destrutivos são:

- Inspeção com câmara boroscópica
- Humidade superficial
- Arrancamento
- Macacos planos
- Dilatómetro

- Inspeção com câmara boroscópica

A inspeção com câmara boroscópica é uma técnica baseada na utilização de um instrumento óptico, de uma forma reduzidamente intrusiva.

Permite obter informações no interior da parede, como a existência de vazios, descontinuidades, constituição da alvenaria e o seu grau de desagregação.

O equipamento utilizado neste ensaio é uma haste estreita, tendo na extremidade uma ocular e uma objectiva, fig. 3.21.



Fig. 3.21 – Inspeção de anomalias usando uma câmara boroscópica [62]

A fim de facilitar a iluminação do orifício, pode ser utilizado um sistema óptico com feixe de luz, montado no interior da haste. É possível ainda ligar, com adaptadores, uma máquina fotográfica ou câmara de filmar, registando deste modo imagens do interior dos elementos em análise [17, 21, 45].

- Humidade superficial

A presença de humidade no interior das paredes dos edifícios antigos pode originar ou agravar algumas anomalias já referidas no capítulo anterior. Deste modo, para um diagnóstico qualitativo da humidade superficial de uma parede, pode ser utilizado um instrumento portátil, humidímetro, fig. 3.22.



Fig. 3.22 – Humidímetros [64]

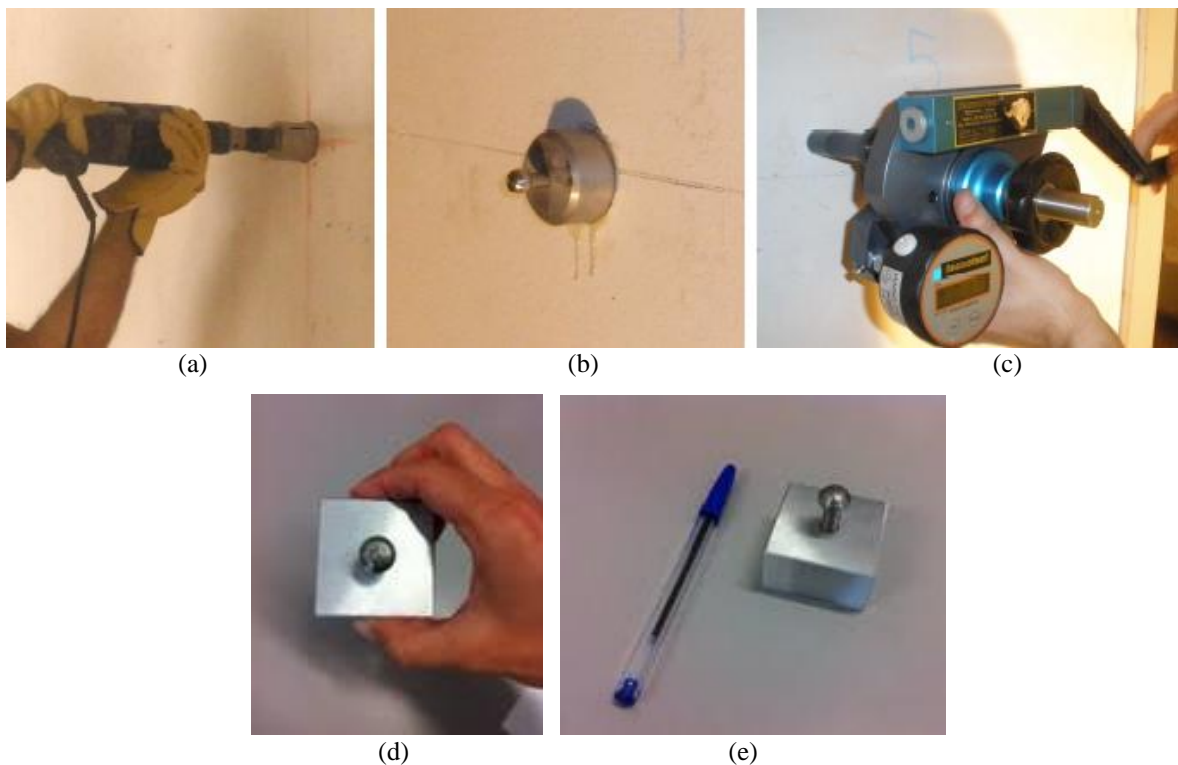
Este aparelho electrónico é constituído por dois eléctrodos que vão sendo posicionados ao longo da parede segundo uma malha previamente definida. Os eléctrodos devem ter um comprimento adequado para que o revestimento não influencie as leituras obtidas e a medição da humidade é efectuada através da passagem de uma corrente eléctrica entre os dois eléctrodos [17, 28].

- Arrancamento

Os revestimentos de paredes dos edifícios antigos devem garantir uma adequada aderência ao suporte durante o seu tempo de vida útil. A ausência de aderência acarreta alguns problemas, nomeadamente, destacamentos (agravados pela acção dos agentes atmosféricos).

Os factores que influenciam a aderência dos revestimentos são a natureza do suporte (rugosidade superficial, teor de humidade, etc.) e a constituição do revestimento (materiais, espessura, condições atmosféricas durante a aplicação) [25].

O equipamento utilizado na execução do ensaio de arrancamento (pull-off) ou de aderência do revestimento ao suporte é: rebarbadora ou caroteadora (com o acessório para carotear), consoante as “pastilhas” metálicas sejam de secção quadrada ou circular, fig. 3.23, respectivamente; cola epoxídica para garantir a colagem da “pastilha” metálica ao revestimento e dinamómetro para avaliar a tensão de aderência [17, 18, 25, 41].



Em cima: pastilha circular - (a) – execução da carote com caroteadora; (b) - colagem de “pastilha” metálica; (c) - extracção da “pastilha” metálica; Em baixo: (d, e) - pastilha quadrada

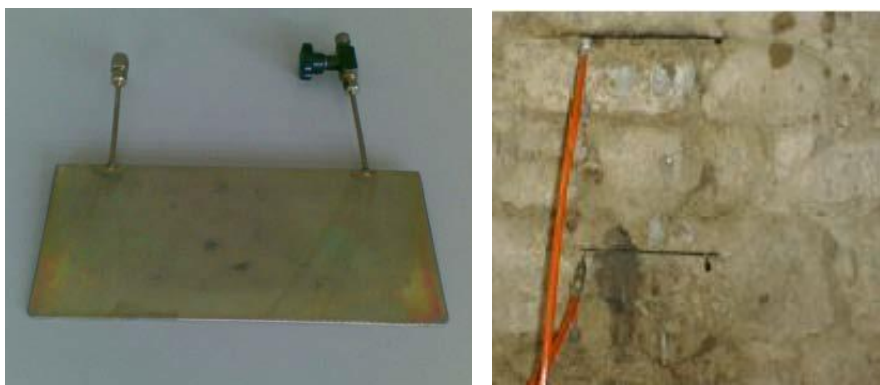
Fig. 3.23 – Metodologia do ensaio de arrancamento

- Macacos planos

O ensaio de macacos planos (flat-jack) utiliza-se para determinar estados de tensão (com macacos planos simples) e estimar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade da alvenaria, através do diagrama tensão-deformação (com macacos planos duplos).

No caso do ensaio de macacos planos simples, antes do corte é representada e registada a distância entre miras e só depois é executado um corte horizontal na parede. Seguidamente, é aplicada uma pressão uniforme no corte, com a introdução do macaco plano, para anular as deformações nas proximidades da ranhura.

Para o ensaio dos macacos planos duplos, são executados dois rasgos horizontais paralelos, com um determinado afastamento, nos quais são inseridos os macacos planos com uma pressão uniforme, fig. 3.24.



Esquerda: macaco-plano simples; Direita: macaco-plano duplo

Fig. 3.24 – Macacos-planos [68]

Desta forma determina-se a capacidade resistente à compressão do “proвете” de alvenaria entre os macacos, que se admite sob um estado de tensão nulo (na espessura da parede em que são introduzidos os macacos) antes do ensaio.

As deformações verticais deste “proвете” são medidas a partir de miras de referência, estimando o módulo de elasticidade através do diagrama de tensões – extensões da parede de alvenaria em estudo [5, 10, 27, 45, 52, 57].

Métodos destrutivos

Os ensaios destrutivos, como a extracção de carotes, permitem observar o interior da parede de um edifício antigo.

No entanto, estes ensaios têm uma acção bastante intrusiva na parede, devendo ser evitados tanto quanto possível, nomeadamente em edifícios ou monumentos de valor histórico.

Os principais métodos destrutivos são:

- Extracção de carotes
- Arrancamento de varões previamente selados nas paredes

- Extracção de carotes

Em edifícios antigos com paredes de elevada espessura, pode ser útil recorrer à técnica de extracção de carotes para observar directamente o interior da parede, conhecer a sua constituição e efectuar ensaios laboratoriais posteriores.

Para a realização da carotagem utiliza-se uma máquina de corte rotativa provida de coroas, com dentes de diamante, fig. 3.25.



Fig. 3.25 – Máquina de extracção de carotes e ensaio [71]

A carotagem deve ser efectuada de modo a minimizar os danos na amostra. No entanto, na maior parte dos casos, devido à elevada heterogeneidade e reduzida coesão das paredes de edifícios antigos, a carote acaba mesmo por sofrer deterioração e desagregação, inviabilizando a aplicação desta técnica [5, 9, 10, 45, 52].

Deste modo, após a carotagem há que ter em atenção o estado da amostra a ensaiar em laboratório, e os resultados obtidos têm de ser vistos com alguma reserva.

Este ensaio poderá ser contundente em paredes de alvenaria com mais do que um pano e pode ser complementado com a inspecção com câmara boroscópica.

- Arrancamento de varões previamente selados nas paredes

O ensaio de arrancamento de varões previamente selados na alvenaria, é normalmente utilizado em situações de pregagem de paredes novas de betão armado às paredes antigas, como no caso de alguns edifícios depois do incêndio do Chiado em 1988, em Lisboa.

Os varões são ancorados em orifícios de 3 cm a 4 cm na alvenaria e com alguma inclinação em relação à horizontal (20° a 30°), permitindo a selagem por injeção. De seguida, estes são arrancados da parede, com o auxílio de um macaco conectado às extremidades salientes dos varões, registando-se a força necessária de arrancamento.

Para o ensaio ser correctamente executado, e os resultados obtidos serem válidos, há que ter em atenção o modo como os macacos estão apoiados na parede [45].

O ensaio de arrancamento de varões previamente selados na alvenaria, permitem a avaliação da resistência à tracção da sua ligação, assim como permite obter uma ideia sobre a sua coesão local, em função da força de arrancamento.

CAPÍTULO 4

TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS COM PAREDES DE ALVENARIA DE PEDRA

4.1 – Considerações gerais

A decisão de intervenção num edifício deve passar por uma avaliação rigorosa do seu estado de degradação.

Num projecto de reabilitação, é fundamental reconhecer as técnicas de construção utilizadas no edifício a interencionar, assim como proceder a um reconhecimento do imóvel para compreender a sua origem e as alterações imprimidas pelo tempo e pelas várias utilizações anteriores.

A identificação do edifício deverá incluir um levantamento geométrico, um levantamento fotográfico e um levantamento das patologias visíveis, procedendo-se à inspecção das zonas reconhecidamente problemáticas quando necessário, e deve incluir também uma recolha de toda a legislação passível de ser aplicada à área de intervenção.

É necessário proceder à intervenção do edifício tendo como principal objectivo, repor ou melhorar a sua segurança estrutural, respeitando por um lado a sua identidade cultural e por outro o seu valor histórico.

Actualmente, a maioria dos materiais utilizados nas intervenções são diferentes dos originais, e assim sendo a reabilitação estrutural deve respeitar três características essenciais [19, 29, 52]:

- **Compatibilidade:**

As técnicas e os materiais utilizados devem tanto quanto possível garantir o mínimo de alteração das características da rigidez da construção e do funcionamento estrutural original.

Os materiais utilizados não devem diferir muito dos materiais existentes quanto ao comportamento físico e/ou químico para que os novos materiais não sejam a causa do aparecimento de novas anomalias.

- **Durabilidade:**

Necessidade de uma maior durabilidade dos novos materiais a serem utilizados para que as estruturas antigas, em especial as de valor histórico importante, sejam preservadas por um longo período de vida útil.

- **Reversibilidade:**

Embora não haja técnicas verdadeiramente reversíveis e seja difícil assegurar esta condição, é necessário tentar garantir a possibilidade de se poder remover, sem provocar danos nos materiais existentes, os novos elementos resultantes da intervenção.

Existem, no entanto, outros requisitos que devem igualmente ser tidos em conta, tais como: o não aumento do peso da estrutura após a aplicação dos materiais, a capacidade de solidarização dos novos materiais ao suporte, os aspectos estéticos posteriores à solução, o custo e o período da intervenção [77].

As técnicas de intervenção utilizadas devem ser escolhidas de modo a que o valor patrimonial dos edifícios antigos não seja comprometido, assim como optar sempre que possível pelas técnicas tradicionais e materiais utilizados na altura em que o edifício tenha sido construído, de forma a serem compatíveis com o conjunto existente.

As técnicas de intervenção podem variar quanto aos materiais e quanto aos efeitos. Relativamente aos materiais, existem as técnicas tradicionais, que aplicam materiais e métodos de construção semelhantes aos originais, e as técnicas inovadoras, que visam encontrar métodos mais eficientes que os tradicionais mediante o uso de materiais e equipamentos tecnologicamente mais avançados.

Relativamente aos efeitos, existem as técnicas de reforço passivo cujos reforços funcionam apenas para as cargas superiores às correspondentes ao estado de equilíbrio em que a estrutura se encontra ou para deformações diferidas posteriores, enquanto as técnicas de reforço activo, os reforços funcionam sempre, mesmo para as cargas previamente instaladas [52].

4.2 – Técnicas de reabilitação de fundações de edifícios antigos com paredes de alvenaria de pedra

As principais técnicas de reabilitação para a resolução das anomalias com origem nas fundações são seguidamente apresentadas. Em cada uma das técnicas de reabilitação é apresentada uma abreviatura, entre parêntesis (ex. RF1), que vai ser utilizada mais adiante, no capítulo 6.

Em síntese tem-se que as principais técnicas anteriormente referidas são:

- Injecção na alvenaria da fundação (RF1)
- Injecção no terreno de fundação (RF2)
- Alargamento da base da fundação (RF3)
- Reforço de fundações com estacas e microestacas (RF4)
- Apoio das estruturas novas tirando partido das fundações existentes (RF5)

Injecção na alvenaria da fundação (RF1)

O material das fundações de edifícios antigos encontra-se frequentemente desagregado devido a fenómenos como a percolação de águas subterrâneas e de águas residuais domésticas, em conjunto com a própria fragilidade dos materiais e técnicas construtivas, ou a problemas associados a assentamentos diferenciais significativos, que podem provocar fracturas e desagregação das alvenarias.

Sempre que se verifique a desagregação da alvenaria é necessário procurar soluções que promovam a melhoria das características do material constituinte das fundações. Uma das soluções consiste na injecção de caldas, com base em cais hidráulicas ou cimento, que preencham as cavidades existentes, fig. 4.1.

As caldas mais utilizadas são constituídas à base de cimento, sendo as menos utilizadas as caldas com base em resinas epoxídicas (pouco utilizadas devido ao seu elevado custo) e com base em resinas poliéster que têm vindo a ter aplicação significativa na consolidação de vazios e fracturas de alvenaria, sobretudo quando não se colocam exigências especiais de resistência mecânica.

As injecções são feitas por gravidade ou a baixa pressão (0,1 a 0,2 MPa), de modo a não serem provocados efeitos negativos na alvenaria existente. Pode ainda ser feita a consolidação de fundações indirectas constituídas por estacas de madeira, através da reconstituição das secções degradadas (como as cabeças das estacas) mediante a injecção com caldas à base de resinas epoxídicas ou pela substituição dessas secções [1].

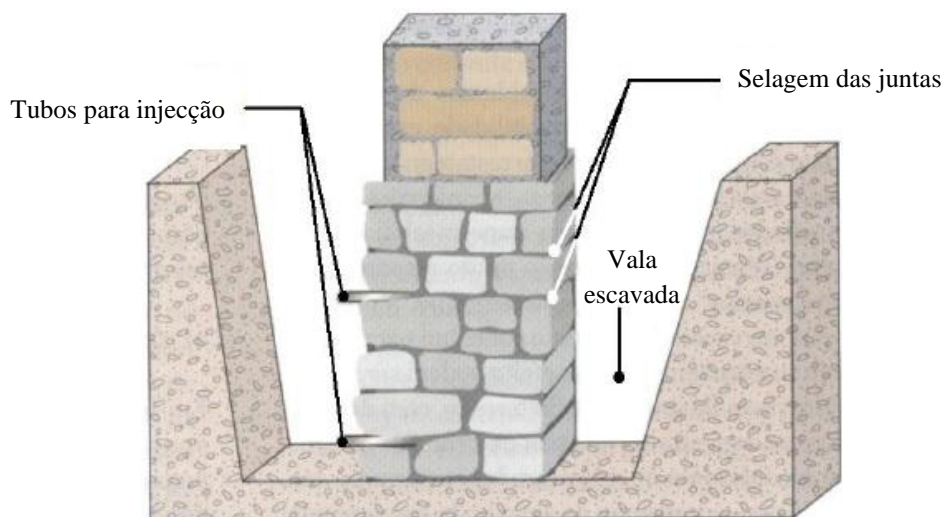


Fig. 4.1 – Representação esquemática da injeção na alvenaria da fundação [1]

Injecção no terreno de fundação (RF2)

Sempre que exista necessidade de melhorar as capacidades resistentes do solo num terreno de fundação, é recomendável que se aplique uma injeção do terreno que é geralmente feita com caldas de injeção com base em cimento.

No entanto a aplicação desta técnica pressupõe conhecimentos profundos acerca das propriedades dos terrenos e requer certas características de permeabilidade dos mesmos, já que a injeção se destina a melhorar as características do solo, fazendo com que o material de elevada resistência – calda de cimento – ocupe os vazios existentes no terreno.

A utilização de injeções, como é o caso da técnica de “jet-grouting” é empregada quando os problemas associados aos terrenos se relacionam com a permeabilidade excessiva destes e a possibilidade de arrastamento por percolação, assegurando assim uma efectiva impermeabilização do solo. A técnica de “jet-grouting” consiste, genericamente, na injeção sob pressão de calda de cimento no solo [1, 15].

O “jet-grouting” é uma técnica de melhoria de solos realizada directamente no interior do terreno sem escavação prévia, utilizando para tal um ou mais jactos horizontais de grande velocidade, aproximadamente 250 m/s, que aplicam a sua elevada energia cinética na desagregação da estrutura do terreno natural e na mistura de calda de cimento com as partículas de solo desagregado, dando origem a um material de melhores características mecânicas do que o inicial e de menor permeabilidade.

O controlo de qualidade durante a execução de tratamento/reforço de solos por jet é fundamental, visto que a sua execução deficiente ou a sua ausência podem colocar em perigo a estabilidade da obra, proporcionar atrasos no seu desenrolar ou, ainda, influenciar os seus custos.

Alargamento da base da fundação (RF3)

Quando o terreno de fundação não dispõe de resistência suficiente para as solicitações impostas, pode-se optar pelo alargamento da área de contacto fundação – terreno. A insuficiência de largura da base de fundação pode dever-se a erros de concepção ou alterações das cargas transmitidas ao terreno.

Uma solução para este tipo de problemas consiste no recalçamento das fundações de alvenaria. No entanto trata-se duma operação complexa, em grande parte devido às elevadas cargas que os edifícios antigos mobilizam ao nível das fundações. É então necessário que esta tarefa seja executada por troços, sucessivamente escavados e betonados, recorrendo a enchimentos de betão simples ou armado.

Para reduzir as cargas transmitidas às fundações, nas zonas onde ocorre o recalçamento deve realizar-se esta operação faseadamente, de ambos os lados da fundação, fig. 4.2 [1].

Em algumas situações, o recalçamento de fundações pode apresentar-se como uma solução de execução complexa, dependendo da natureza do solo. Assim em vez de se proceder ao recalçamento da fundação, pode-se optar por fazer o confinamento lateral das fundações, alargando-as em simultâneo, fig. 4.3.

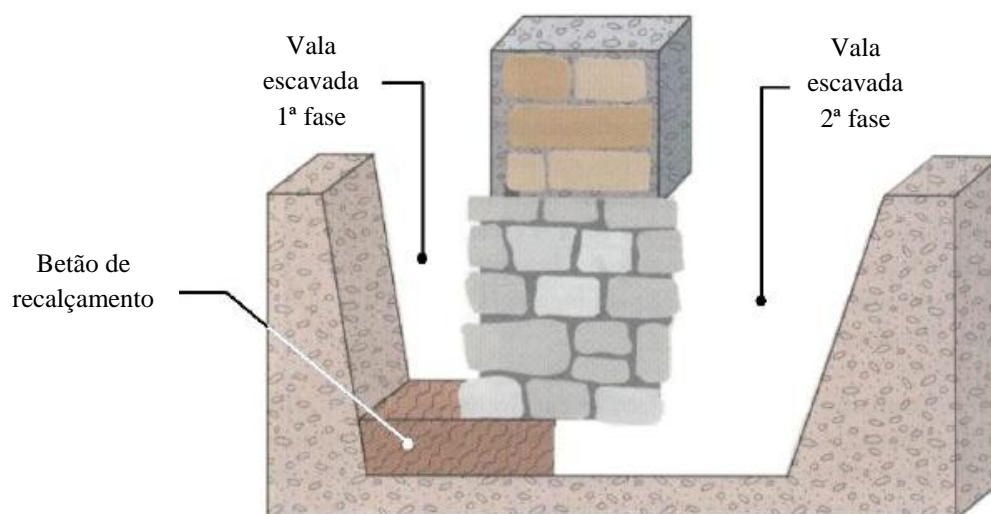


Fig. 4.2 – Representação esquemática do recalçamento de uma fundação em duas fases [1]

O alargamento é executado com recurso a pregagens laterais que reforçam a ligação entre o betão novo e a alvenaria antiga.

Este alargamento será mobilizado para as cargas que actuam na parede, após a remoção de eventuais escoramentos. O efeito de confinamento nas fundações que se pretende pode ainda ser executado com recurso a furações e posteriores atravessamentos das alvenarias por lâminas de argamassa armada. Esta é uma alternativa que pode ser proveitosa quando ocorre também o reforço das paredes respectivas [1].

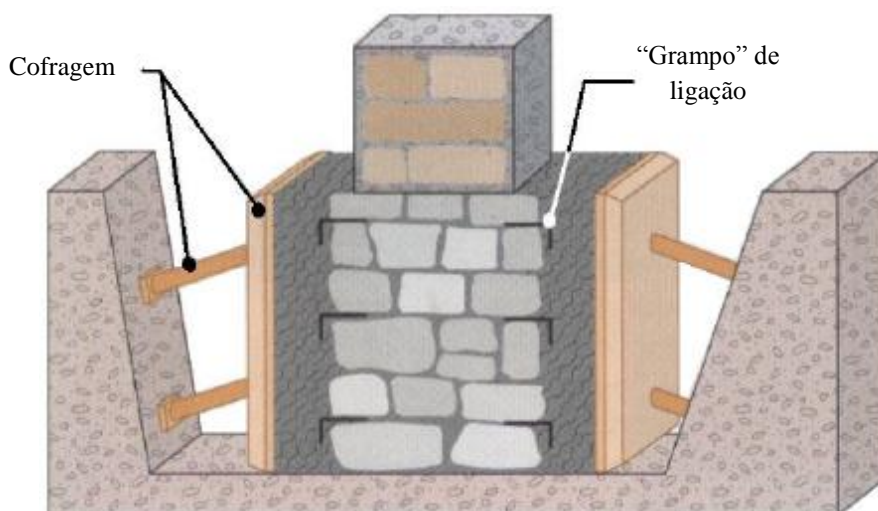


Fig. 4.3 – Representação esquemática do confinamento e alargamento de uma fundação em alvenaria [1]

Reforço de fundações com estacas e microestacas (RF4)

Quando o terreno de fundação apresenta uma capacidade resistente insuficiente e sempre que o reforço das camadas mais superficiais do terreno de fundação não seja viável, é necessário transferir as cargas de fundação para camadas mais profundas do terreno, com melhores características de resistência e deformabilidade.

Para tal, os tipos de recalçamento mais usuais recorrem à execução de estacas metálicas, de madeira ou de betão armado, cravadas no solo ou moldadas, encabeçadas por vigas metálicas ou de betão armado, colocadas sob a fundação existente.

A implementação de soluções com recurso a estacas consiste na execução de travessas-carlingas que atravessem a fundação, e que servirão para o encabeçamento de estacas, previamente executadas em ambos os lados da fundação e o mais próximo possível desta, fig. 4.4.

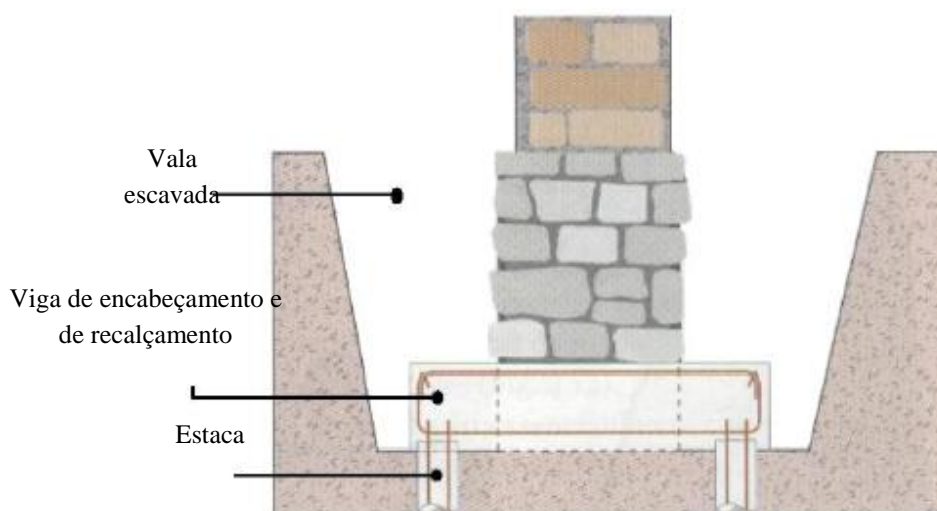


Fig. 4.4 – Representação esquemática do reforço de fundações com estacas [1]

Outra solução habitual passa pela utilização de microestacas, que se destaca das anteriores pela possibilidade de execução em espaços limitados e com reduzido diâmetro.

A solução por microestacas é considerada uma fundação indirecta, que mobiliza estratos profundos do solo, fig. 4.5. As injeções sob pressão são executadas nas microestacas, a várias alturas ou apenas na ponta, provocando uma consolidação significativa do solo, fazendo a alteração das suas características de resistência mecânica, constituindo esta solução uma combinação de reforço do solo e da fundação [1, 39].

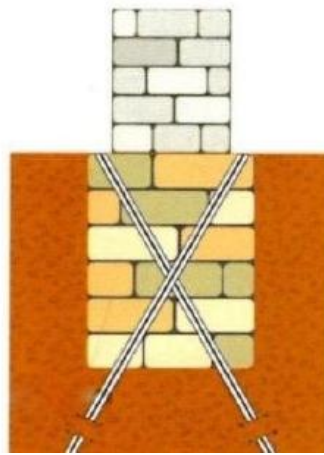


Fig. 4.5 – Micro-estacas [1]

Apoio das estruturas novas tirando partido das fundações existentes (RF5)

Esta solução tem como princípio tirar partido das fundações existentes. Desta forma, mantem-se as fundações criando uma grelha de vigas de fundação, de modo a descarregar os esforços provenientes dos alinhamentos de frontal nas fundações existentes, fig. 4.6.



Fig. 4.6 – Reforço da solução existente com criação de grelha de viga de fundação

4.3 – Técnicas de reabilitação de paredes de alvenaria de pedra de edifícios antigos

Procede-se agora à apresentação das principais técnicas de reabilitação a utilizar em paredes de alvenaria de pedra de edifícios antigos, de acordo com a ordem abaixo. À frente de cada técnica e entre parêntesis consta também uma abreviatura (ex. RPr1) que vai ser utilizada no capítulo 4.

Fazendo uma abordagem a cada uma das técnicas anteriormente descritas tem-se:

- Desmonte e reconstrução de partes do edifício (RPr1)
- Refechamento das juntas (RPr2)
- Confinamento transversal da alvenaria (RPr3)
- Rebocos armados (RPr4)
- Injecção de caldas (RPr5)
- Ligação entre paredes de fachadas paralelas (RPr6)
- Cinta sísmica (RPr7)
- Encamisamento (RPr8)
- Sistemas portificados em betão armado (RPr9)

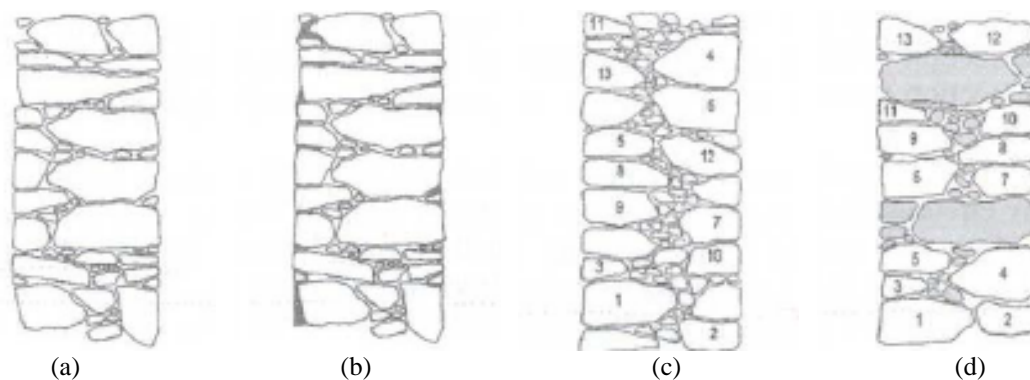
Desmonte e reconstrução de partes do edifício (RPr1)

Para o caso em que se utilizam os materiais originais, nomeadamente as pedras, com substituição dos que se mostrem insatisfatórios, facilita a correcção de deficiências ou degradações localizadas, permitindo melhorar a qualidade construtiva da alvenaria.

Devem utilizar-se argamassas pouco retrácteis como, por exemplo, argamassas de cal e areia, ou argamassas bastardas de cimento, cal e areia, tendo em vista uma melhor compatibilidade física e mecânica com o existente, fig. 4.7.

O desmonte e a reconstrução deve ser efectuado por troços e obedecer aos seguintes requisitos:

- alvenaria antiga, que faz fronteira com a alvenaria nova, deve ficar com os contornos irregulares para melhorar a ligação;
- antes da construção de um novo troço de alvenaria, a superfície da alvenaria antiga deve ser limpa, preferencialmente com água corrente;
- toda a zona intervencionada requiere o escoramento prévio, o qual deve ser mantido até à sua nova entrada em carga;
- nas construções de alvenaria de pedra à vista, deve efectuar-se a previa numeração das peças, para facilitar a sua reaplicação.



(a, b) - Representação esquemática de alvenaria de boa qualidade: colocação de pequenas pedras e refechamento das juntas; (c, d) - Representação esquemática de alvenaria de fraca qualidade: desmonte e reconstrução completa

Fig. 4.7 – Intervenções diferenciadas de desmonte e reconstrução em alvenarias de pedra ordinária, em função da sua qualidade construtiva [14]

Refechamento das juntas (RPr2)

È considerada uma das técnicas mais simples e adequada para o restabelecimento da integridade, melhoria da resistência mecânica e melhoria da protecção das faces das paredes e das condições estanquidade à água, fig. 4.8.



Fig. 4.8 – Refechamento de junta [67]

Esta técnica consiste na remoção parcial da argamassa deteriorada numa profundidade de 5 a 7 cm, lavagem da junta, avivada com água sob baixa pressão e substituição do material removido.

No caso de ser aplicada nos dois paramentos da parede, o núcleo central não intervencionado deve ter, pelo menos, 1/3 da espessura da parede. Além disso, a argamassa das juntas de um paramento só deve ser removida após a conclusão dos trabalhos no paramento oposto.

Em paredes de junta horizontal regular, o refechamento armado das juntas, com rede metálica colocada antes da aplicação da argamassa, confere-lhe ainda um melhor desempenho funcional.

Confinamento transversal da alvenaria (RPr3)

Pode ser efectuado com elementos metálicos, varões rosçados, designados por conectores, fig. 4.9, (quando o comprimento dos varões é igual à espessura dos elementos estruturais a reforçar) ou pregagens (quando o comprimento dos varões é inferior à espessura dos elementos a reforçar).

Esta técnica foi desenvolvida em Itália, a seguir à II Guerra Mundial, aplicada ao reforço e reabilitação de estruturas antigas de alvenaria.

O efeito de confinamento da alvenaria é conseguido através das chapas de ancoragem fixas nas extremidades dos conectores e das pregagens, em geral com auxílio de porcas, que apertam as chapas contra a alvenaria (duas chapas para cada conector e uma por cada pregagem).

Os conectores e as pregagens são introduzidos em furos abertos para o efeito, perpendiculares ao plano das paredes (no caso dos conectores) ou inclinados (no caso das pregagens), e posteriormente selados com caldas de injeção.



Fig. 4.9 – Pregagens e conectores transversais [69]

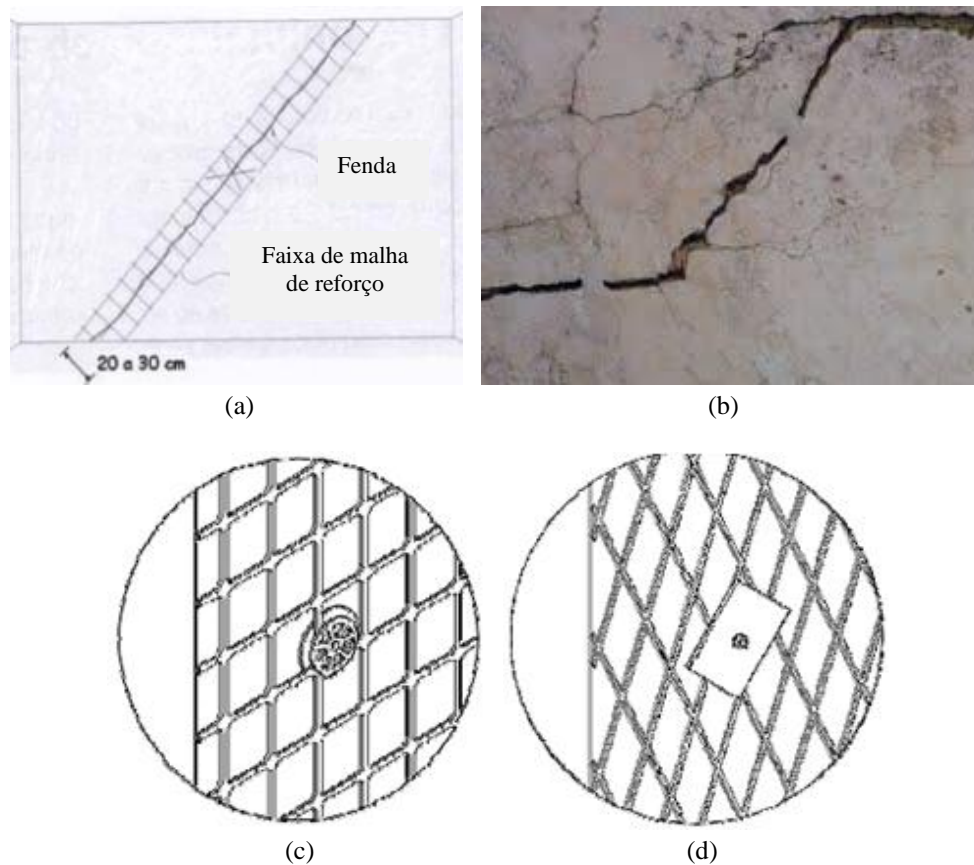
Rebocos armados (RPr4)

È uma técnica muito divulgada actualmente e consiste na realização de rebocos armados com lâminas de argamassa ou micro-betão armadas com rede metálica, fig. 4.10.

Além da rede metálica, existem também aplicações em rede de fibra de vidro, embora com um desempenho estrutural inferior.

Os “rebocos armados” devem ser realizados, quando possível, em ambas as faces das paredes, e ligados entre si por um conjunto de elementos (conectores metálicos), que solidarizem as lâminas de argamassa ou micro-betão entre si, de forma a evitar ou minimizar a desagregação da alvenaria.

Esta técnica origina uma nova secção transversal, constituída pelo elemento a reforçar e as lâminas de reforço, melhorando a ligação entre as paredes, a resistência ao corte e a ductilidade da estrutura. Além disso, pode diminuir a fendilhação, comparativamente aos elementos não reforçados.



(a) - Representação esquemática da reparação de fenda com a técnica de reboco armado; (b) – Exemplo de reparação de fenda com a técnica de reboco armado; (c) - Rede em polipropileno; (d) - Rede metálica fixa por confinador

Fig. 4.10 – Exemplos de reparação de uma fenda através da técnica de reboco armado e de alguns tipos de redes [35]

Injecção de caldas (RPr5)

Esta técnica tem como finalidades consolidar a alvenaria existente, promover a melhoria das condições de ligação entre os seus elementos (pedras, tijolos) e por essa via a sua integridade e coesão. No caso de paredes de “múltiplas folhas”, esta técnica permite também consolidar o núcleo interior geralmente pouco resistente. Contudo, as condições de aderência (e coesão) da alvenaria devem ser melhoradas de forma homogénea (em volume) e segundo técnicas de aplicação que não introduzam danos adicionais.

As caldas de injecção devem ser pouco retrácteis e relativamente fluídas para preencherem os vazios e/ou fendas existentes. Para a definição da sua composição, deve ter-se em conta a constituição morfológica da parede, porque mesmo caldas muito finas podem apresentar dificuldade de penetração em fendas inferiores a 2 ou 3 mm, bem como o tipo e as características do dano estrutural.

As caldas de injecção mais utilizadas resultam de combinações, em diversas proporções, de cimento, cal hidráulica, cal aérea e água. Mas, além destas, existem as caldas de silicatos de potássio ou de sódio, as caldas estáveis (argila e cimento), as resinas orgânicas e as caldas nobres (resinas epoxídicas, polyésteres, etc.), cuja utilização deve ser justificada em cada caso, por a sua constituição ter uma reduzida compatibilidade com os materiais originais das construções de alvenaria.

A eficácia da aplicação, que pode ser avaliada através de ensaios de ultrassons e/ou extracção de carotes, depende do índice de vazios da alvenaria, sendo optimizada para valores entre 2 e 15%. O padrão da furação corresponde, em geral, a cerca de dois a quatro furos por metro quadrado, distribuídos em quincôncio, que devem atingir no mínimo meia espessura da parede, para assegurar a difusão uniforme da calda em toda a secção transversal.

A técnica da injecção de caldas é muitas vezes utilizada em conjunto com “rebocos armados” e confinamento transversal. Dependendo das características morfológicas do elemento a reforçar e do tipo e características do dano estrutural (número e dimensão das fendas), podem efectuar-se injecções sob pressão, por gravidade ou por vácuo:

- Injecção sob pressão

Efectuada em alvenarias que, apesar de degradadas, suportam o impulso da pressão aplicada (inferiores a valores entre 0,1 a 0,2 MPa).

É feita a partir de tubos de adução previamente introduzidos na alvenaria, em furos abertos para o efeito, ou através das fendas existentes, de baixo para cima e dos extremos para o centro, e sempre adequada às condições estruturais existentes, fig. 4.11.



Fig. 4.11 – Exemplo de injeção de calda sob pressão [45]

- Injeção por gravidade

Pode ser efectuada em alvenarias muito degradadas, através de tubos introduzidos nas fendas ou com o auxílio de seringas, sobre os tubos previamente inseridos, fig. 4.12.



Fig. 4.12 – Exemplo de injeção de calda por gravidade

- Injeção por vácuo

Este sistema é aplicável em pequenos elementos arquitectónicos ou, preferencialmente, em elementos removíveis, utilizando caldas muito finas, cuja penetração nos tubos inferiores se faz enquanto se aspira o ar nos tubos superiores.

A técnica de injeção de caldas preserva o aspecto exterior original das paredes, sendo por isso frequentemente utilizada na consolidação estrutural de obras de valor artístico e/ou arquitectónico.

Todavia, e independentemente dos estudos necessários à definição da composição, esta técnica inviabiliza sempre o princípio da reversibilidade da intervenção referido antes e confere ao conjunto “alvenaria + consolidante”, um comportamento em série, enquanto as soluções baseadas em “reboco armado” conduzem à formação de conjuntos “alvenaria + reforço”, com um comportamento global em paralelo [45]. O reboco armado não é completamente reversível. A reversibilidade está muito dependente do material utilizado, caso sejam adoptados materiais à base de cais aéreas naturais o problema de compatibilidade não é posto em causa, uma vez que estamos a falar do mesmo tipo de material.

Ligação entre paredes de fachadas paralelas (RPr6)

Esta técnica de reforço está muito ligada à presença de cobertura de asnas e abóbadas, que é onde faz mais sentido fazer a compatibilidade das forças, e é feita através de varões metálicos ou do vigeamento dos pavimentos, quando se encontra perpendicular às paredes a ligar.

Os tirantes são colocados ao nível da entrega dos arcos, de modo a equilibrarem as forças horizontais existentes nessa zona, fig. 4.13, no entanto, ao ligar o pórtico exterior à parede interior, em caso de sismo, as forças horizontais serão distribuídas pelas paredes interiores perpendiculares a esses alinhamentos.



Fig. 4.13 – Ligação de paredes paralelas através de tirantes e peças de travamento

Cinta sísmica (RPr7)

A cinta sísmica consiste numa viga de coroamento construída no topo das paredes periféricas, interligando-as. Foi uma técnica especialmente adoptada na sequência do sismo de Lisboa de 1969, conferindo uma grande melhoria no comportamento da parede em relação a forças perpendiculares ao plano, fig. 4.14. Esta é outra solução de reforço, assim como o encamisamento ou a construção de sistemas porticados de betão, que prevê a criação de elementos adicionais à alvenaria.



Fig. 4.14 – Exemplo de aplicação da cinta (ou viga) [55, 78]

Encamisamento (RPr8)

O encamisamento das paredes, realizado em betão armado em camadas com espessura da ordem dos 5 a 8 cm para pavimentos leves, e na ordem dos 8 a 10 cm para pavimentos em betão (cargas elevadas), é uma técnica mais intrusiva do que os “rebocos armados”, porém com maior capacidade resistente, fig. 4.15.

Destina-se a situações de elevada degradação estrutural mas apenas deve ser utilizada quando não existir outra alternativa. Algumas vezes esta técnica é aplicada em situações em que se pretende aumentar o número de pisos dos edifícios, numa situação já distante do conceito de “reabilitação estrutural”.



Fig. 4.15 – Betão projectado em estruturas antigas num encamisamento [16]

Sistemas porticados em betão armado (RPr9)

A construção destes sistemas, “pregados” às paredes de alvenaria, permite que estas passem a desempenhar funções de revestimento ou forro, fig. 4.16. Esta técnica, contudo, apresenta dificuldades de projecto, relacionadas com as condições de ligação e funcionamento relativo entre a estrutura de

betão e a alvenaria, bem como dificuldades construtivas, relacionadas com a necessidade de aberturas de rasgos na alvenaria para a execução da estrutura porticada.

Além disso, a mobilização da capacidade resistente, à tracção e ao corte, dos varões metálicos utilizados nas “pregagens” requer a sua adequada ligação, tanto aos elementos novos de betão como à alvenaria. Por outro lado, a rigidez destas paredes pode sobrepor-se à rigidez da estrutura porticada e, assim, condicionar o comportamento global.



Fig. 4.16 – Demolição de todo o interior do edifício antigo [51]

Na análise de construções adjacentes umas às outras, formando quarteirões, para efeitos de reabilitação estrutural, estas deverão ser tratadas em conjunto, uma vez que o comportamento individual, nomeadamente perante a acção sísmica, dependerá do comportamento do conjunto, embora com consequências previsivelmente distintas para cada uma delas.

Após a apresentação de todas estas técnicas de reabilitação de edifícios, há a reter que qualquer solução a adoptar, devidamente justificada, não deve conduzir ao aumento da massa global da construção. Independentemente da possibilidade de verificação ou não desta condição, devem ser avaliadas as condições de segurança das fundações actuando em caso de necessidade, sobre as fundações, sobre o solo de fundação ou adoptando medidas correctivas.

Nas construções de alvenaria de pedra ou de tijolo, a estrutura dos pavimentos elevados é maioritariamente de madeira, embora também se encontrem com alguma frequência pavimentos mistos de alvenaria e ferro, cuja corrosão constitui a principal fonte de anomalias estruturais, tanto em zona corrente como nas zonas de apoio das vigas metálicas nas paredes. Noutras situações, em especial nas construções mais “nobres”, os tectos dos pisos térreos eram constituídos essencialmente por arcos e abóbadas, também de alvenaria.

No caso da existência de fendilhação devida a movimentos e cedências dos apoios dos arcos e abóbadas, a intervenção passa quer pela eliminação da anomalia quer pela eliminação da sua causa, com acções de reforço de fundações e paredes e, quando possível, com a aplicação de tirantes que

limitem os esforços transmitidos às paredes de apoio. A eliminação desta anomalia, da fendilhação, pode ser conseguida com a injeção das fendas, de acordo com critérios referidos anteriormente, ou com a reconstrução da zona afectada.

Relativamente ao reforço dos arcos e abóbadas, quando muito danificadas, para a melhoria da sua resistência às cargas gravíticas ou acção de sismos, pode ser conseguido construindo no extradorso um segundo arco, geralmente em betão, que pode ser dimensionado para suportar a totalidade das cargas, incluindo o peso do arco original. O encamisamento duplo, pelo extradorso e pelo intradorso, está limitado apenas a situações de intervenção profunda, geralmente em reconversão e modernização dos edifícios.

Embora a diversidade de soluções de reabilitação disponíveis, há algumas que requerem maior aprofundamento ou poderão ter alguma dificuldade de aplicação, diante estas complicações a solução a prescrever deve ser precedida de um adequado diagnóstico, tendo em vista a salvaguarda de critérios relacionados com a ética da conservação do património edificado. Isto é, a solução de reabilitação a adoptar não deve contribuir para agravar a degradação das alvenarias ou descaracterizar a construção, devendo, pelo contrário, ser razoavelmente durável e reparável [45].

4.4 – Técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira de edifícios antigos

As principais técnicas de intervenção adoptadas em pavimentos de madeira, devem ser aplicadas com algum cuidado para que o desempenho sísmico dos edifícios não seja afetado de forma adversa. A utilização de painéis de derivados de madeira, por exemplo é uma solução relativamente frequente uma vez que é compatível e de ligação relativamente simples com o vigamento de madeira dos pavimentos.

Se o revestimento de piso tiver de ser mantido poderá ser analisada a hipótese de utilizar esses painéis sob as vigas, na situação de tecto do piso inferior. Podem ainda ser aplicados sobre o revestimento de piso existente [47].

As soluções de intervenção a realizar sobre os pavimentos de madeira, face às anomalias anteriormente descritas são múltiplas. Apresentam-se as mais correntes, que em geral, poderão servir as seguintes situações tipo:

- Melhoria do desempenho face às ações verticais e/ou dos pavimentos em geral
- Melhoria do desempenho face às ações sísmicas e/ou dos edifícios em geral

Em cada uma das técnicas de reabilitação de pavimentos é apresentada uma abreviatura, entre parêntesis (ex. RPv1), que vai ser utilizada mais adiante, no capítulo 6.

Melhoria do desempenho face às acções verticais

O problema das deformações acentuadas e da falta de capacidade resistente dos pavimentos face às acções verticais deve ser diagnosticado de modo a identificar a origem dessa anomalia.

Caso a anomalia seja devida a cargas excessivas, como medida de primeira intervenção a solução deve ser a do rearranjo das cargas, transferindo as cargas em excesso para outras zonas do edifício, ou deslocando-as no próprio pavimento, ou prever o seu escoramento numa fase seguinte à que verificar a segurança do pavimento para as cargas de utilização a prever [8].

Caso a deformabilidade seja devida a deficiente concepção ou execução, por as dimensões da secção ou a qualidade das madeiras utilizadas não serem as adequadas, o reforço pode ser efetuado utilizando processos distintos [47]:

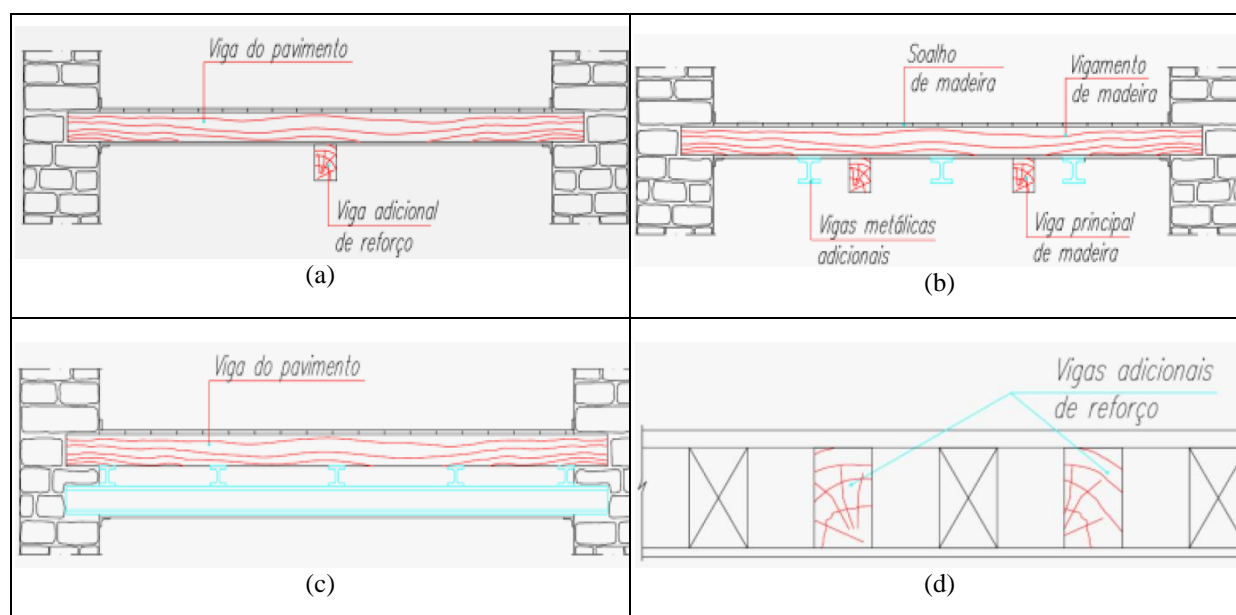
- Adição de novas vigas, por exemplo, colocando novas vigas sob as vigas existentes do pavimento para apoio intermédio destas, ou introduzindo novos elementos a par do vigamento existente
- Manutenção do vigamento existente mas reforçando-o através da ligação de elementos adicionais
- Reparação, substituição parcial ou reconstrução de troços de vigas

- Adicionar novas vigas (RPv1)

A adição de novas vigas sob o vigamento existente é talvez o modo mais simples de resolver este problema. Esta solução de reforço consiste na colocação de elementos transversais (vigas metálicas ou de madeira) que apoiam em paredes laterais, fig. 4.17 (a, b), caso estas paredes possam suportar o apoio destas vigas transversais. Caso isso não seja possível, ainda se poderiam prever vigas longitudinais em que essas vigas apoiariam, fig. 4.17 (c).

A adoção de uma solução deste tipo está condicionada à existência de pé-direito e à não existência de tecto falso ou à existência de tectos sem importância decorativa [47].

A colocação de vigas de madeira ou mesmo metálicas a par das vigas existentes do pavimento é uma solução muito usual, já que permite manter o pé-direito existente no piso inferior, fig. 4.17 (d). Obriga no entanto à remoção do tecto ou do revestimento de piso, à adaptação dos tarugos, caso existam, e à execução de aberturas nas paredes para o apoio das novas vigas, o que não é aconselhável, sendo nestes casos necessário prever a colocação de um apoio exterior através de frechal de madeira ou de uma cantoneira metálica.



(a) - introdução de viga de madeira transversal a meio-vão sob o pavimento existente; (b) - introdução de vigas metálicas intercaladas com vigas de madeira existentes; (c) - introdução de vigas transversais e longitudinais sob o pavimento existente; (d) - vigas de reforço dispostas paralelamente às existentes.

Fig. 4.17 – Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes à adição de novas vigas [6, 8]

- Manutenção do vigamento existente mas reforçando-o através da ligação de elementos adicionais (RPv2)

A solução mais simples de manutenção do vigamento consiste no acoplamento de novas peças de madeira, de um ou de ambos os lados das peças antigas, unindo-as através de pernos, pregos, parafusos de porca, chapas ou cintas metálicas.

Esta solução de reforço tem normalmente como objetivo restabelecer a capacidade resistente em vigas enfraquecidas, por exemplo, por ataque de fungos de podridão, ou por ataque de insectos em vigas em que se pretende aumentar a sua inércia e tanto pode ser utilizada na zona dos apoios como ao longo do vão das vigas. Tem a vantagem de não envolver operações de remoção que normalmente são demoradas e implicam o escoramento do pavimento. Os elementos de madeira a colocar devem ser objeto de tratamento preservador e apresentar teor de água semelhante ao da madeira existente.

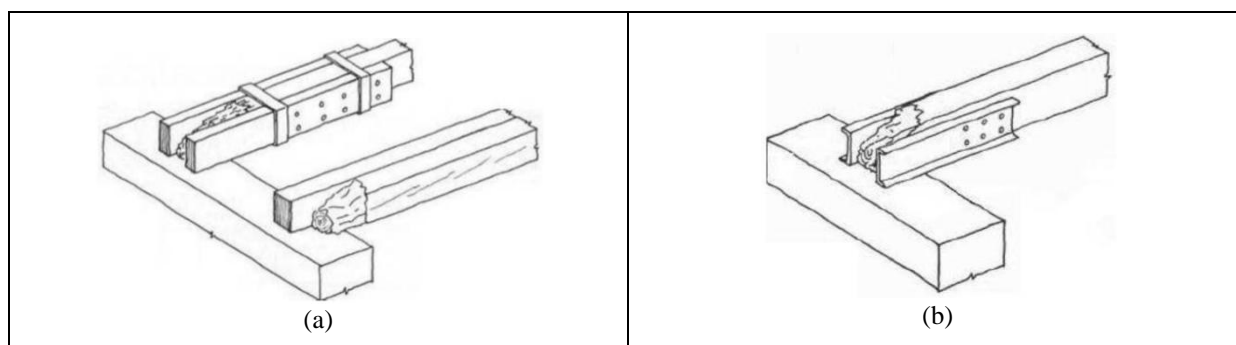
Na aplicação sobre vigas com troços degradados, os novos elementos devem ser convenientemente fixados na zona sã da viga existente, através de pernos, pregos ou parafusos eventualmente ainda com reforço de ligadores com chapa, fig. 4.18 (a).

Em geral esta solução pode ser aplicada sem limitações arquitetónicas, inclusivamente nas situações em que existem tetos a manter, uma vez que não aumenta a espessura total do pavimento.

As soluções de reforço de pavimentos de madeira com a introdução de elementos metálicos, chapas ou perfis, são muito usuais, dadas as características conhecidas de elevada resistência e rigidez desses

elementos. Uma solução muito usual consiste na fixação de chapas ou perfis metálicos através de parafusos ou parafusos de porca, à parte sã do elemento de madeira degradado em comprimento entre 0,50 m e 0,80 m, fig. 4.18 (b) [47].

No que respeita à resistência ao fogo é de referir que os elementos de madeira suportam temperaturas para as quais os elementos metálicos apresentam comportamento deficiente por diminuição da sua capacidade resistente e por instalação de esforços adicionais decorrentes de variações dimensionais.



(a) - reforço com novas peças de madeira fixadas às existentes; (b) - reforço com vigas metálicas fixadas às vigas de madeira existentes.

Fig. 4.18 – Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes à manutenção do vigamento existente mas reforçando-o através da ligação de elementos adicionais [6, 8]

- *Reparação, substituição parcial ou reconstrução de troços de vigas (RPv3)*

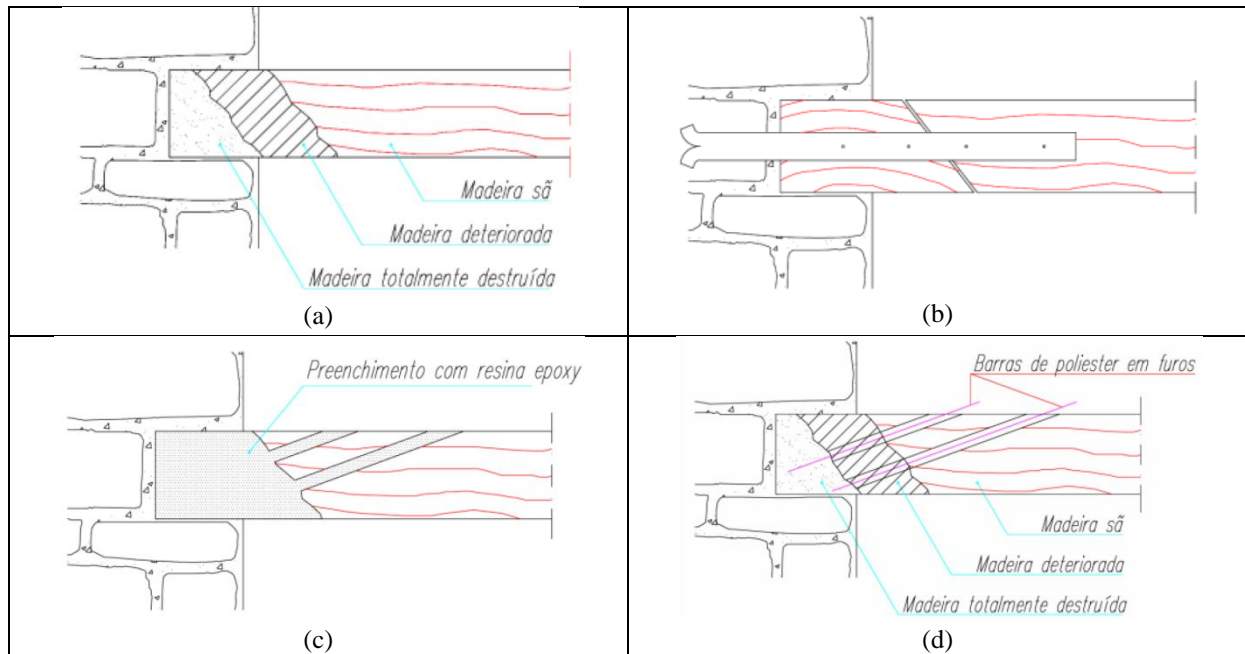
A substituição das partes degradadas das vigas por novas peças de madeira é uma solução de reparação que pode ser aplicada numa zona degradada das vigas que pode obrigar a executar um escoramento provisório da estrutura (se a anomalia for muito generalizada), ao corte e remoção da zona danificada da viga, após o que se procede à instalação do novo troço de madeira cuja ligação pode ser reforçada com peças metálicas, por exemplo através de chapas de aço aplicadas a cada uma das faces laterais das vigas com comprimento, altura e espessura em correspondência com os esforços resistentes que se pretendem obter, fig. 4.19 (a, b).

Em geral a altura desta peça deve ser idêntica à altura das vigas. Em vez das chapas metálicas, podem aplicar-se novos elementos de madeira, que estabelecem a continuidade estrutural entre o elemento de madeira existente e o novo elemento de madeira.

A reconstituição de troços de vigas deteriorados é uma solução de reparação em que as zonas afetadas pelos fungos de podridão, ou pelo ataque de insetos, são substituídas por troços realizados com argamassa epoxídica ou à base de resina de poliéster, a qual é moldada no meio de peças de madeira que constituem uma cofragem perdida e simultaneamente uma proteção ao fogo, fig. 4.19 (c, d).

No caso de o troço degradado ter comprimento maior, faz-se a sua substituição por novo elemento de madeira.

A ligação é normalmente feita por varões metálicos ou por varões de material compósito, fazendo-se a sua colagem com resinas epoxídicas [47].



(a) - degradação no topo de viga de madeira; (b) - reparação de topo de viga; (c) - injeção de resina epóxi para reconstrução de topo deteriorado de viga de madeira; (d) - colocação de barras de poliéster em furos.

Fig. 4.19 – Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes à reparação, substituição parcial ou reconstrução de troços de vigas [6, 8]

Melhoria do desempenho face às acções sísmicas

Referem-se as intervenções que visam melhorar o comportamento dos pavimentos de madeira, funcionando como componentes de contraventamento dos edifícios perante a acção dos sismos.

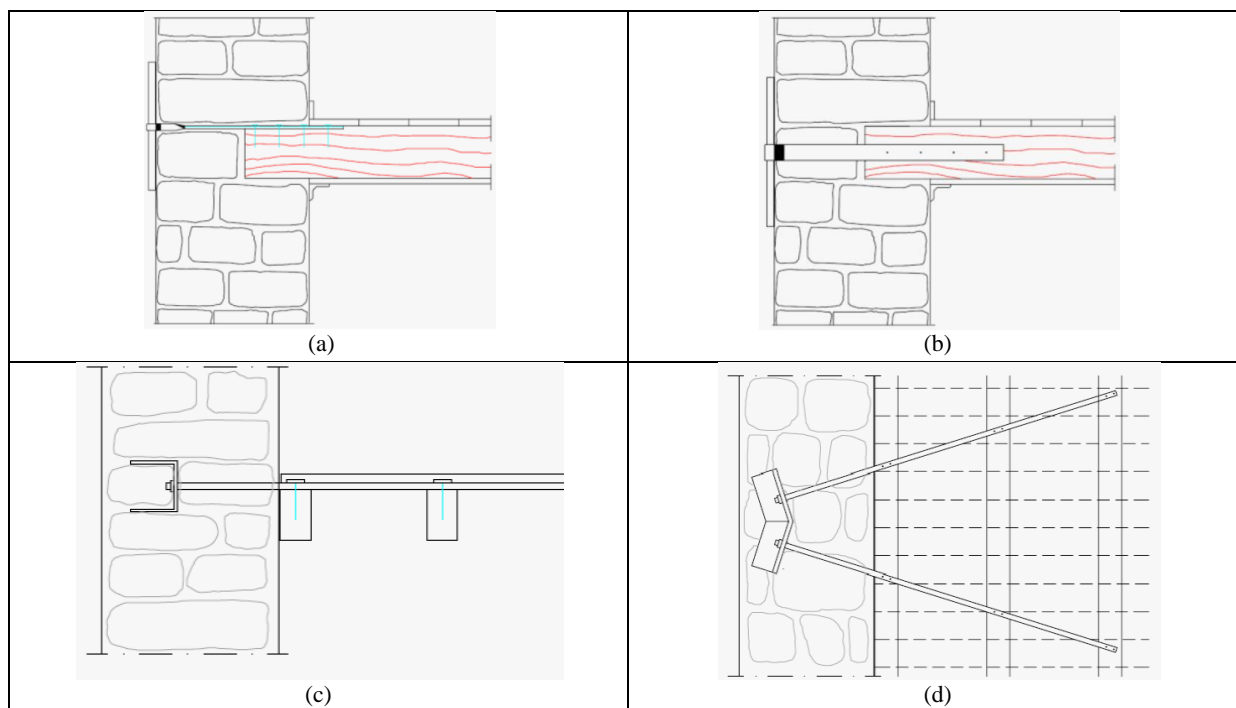
Algumas das técnicas atrás abordadas, apesar de muitas vezes serem utilizadas para resolver danos locais, contribuem de algum modo para o reforço global dos edifícios, nomeadamente as que envolvem a introdução de novas vigas paralelamente ou transversalmente às existentes, assim como as técnicas que se destinam a reforçar a zona dos apoios das vigas e que acabam por melhorar as ligações pavimento-parede.

- Ligação pavimento-parede através de ferrolhos ou chapas de aço (RPv4)

Dentro dessas técnicas de ligação pavimento-parede salientam-se as técnicas tradicionais de ligação através de ferrolhos, pregados às vigas dos pavimentos nas suas faces laterais ou superiores e

ancorados nas paredes de alvenaria, fig. 4.20 (a, b), e através de vergalhões ou chapas de aço, fixadas diagonalmente às vigas do pavimento sob o soalho e ancoradas não às paredes de apoio dos pavimentos mas sim às paredes transversais paralelas às vigas de madeira.

Recomenda-se que a colocação destas barras de ligação seja feita com uma inclinação de 45° e um comprimento tal que a pregagem seja efetuada em pelo menos três vigas de madeira, fig. 4.20 (c, d) [1, 8, 47].



(a) - reforço da ligação de viga à parede com barra de aço pregada na face superior das vigas; (b) - reforço da ligação de viga à parede com barra de aço pregada na face lateral das vigas; (c, d) – reforço da ligação entre pavimento de madeira e parede lateral ao pavimento através de chapas de aço.

Fig. 4.20 – Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes à ligação através de ferrolhos ou chapas de aço [6, 8]

- Aumento da rigidez dos pavimentos no seu plano (RPv5)

Para além de se proceder à melhoria das ligações pavimento-parede, interessa aumentar a rigidez dos pavimentos no seu plano, garantindo que os pavimentos funcionem como diafragmas.

A melhoria do comportamento dos pavimentos no seu plano como diafragma pode ser feita de diversas formas, devendo no entanto evitar-se um aumento da massa da estrutura e consequentemente da acção sísmica.

É importante fazer em todos os pavimentos o tarugamento dos vigamentos, de forma a melhorar a distribuição dos esforços horizontais pelas paredes em que o pavimento apoia, fig. 4.21.



Fig. 4.21 – Tarugamento de vigamento

Têm vindo a ser preconizadas e analisadas diversas soluções para a rigidificação dos pavimentos no seu plano, que em geral passam pela aplicação, sobre o soalho existente, de elementos de madeira maciça ou de placas de derivados de madeira, fig.4.22, de tiras e chapas metálicas, de faixas de materiais compósitos de polímero reforçado com fibras (FRP), ou ainda de camadas de betão armado, constituindo pavimentos mistos madeira-betão [47].

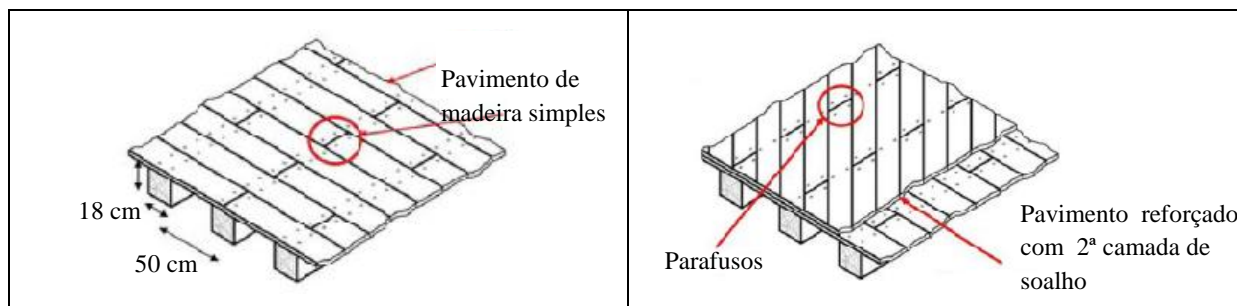


Fig. 4.22 – Exemplos esquemáticos de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira conducentes ao aumento da rigidez no plano [6, 8]

CAPÍTULO 5

EDIFÍCIO ACOMPANHADO NA PRESENTE DISSERTAÇÃO

5.1 - Considerações gerais

No presente capítulo procede-se à análise de um caso prático de um edifício antigo, pombalino, em Lisboa. Para melhor se perceber e interpretar o estudo de caso, nomeadamente a sua tipologia, estado de conservação, soluções construtivas e obras de reabilitação a desenvolver, foi desde o início deste trabalho feito o acompanhamento de projecto e obra.

O edifício em estudo localiza-se numa zona antiga de Lisboa, na Calçada do Marquês de Abrantes, n.º 2 A 14, fig. 5.1.



Fig. 5.1 - Vista aérea do edifício objecto de estudo [60]

Pretende-se reabilitar o edifício de forma a adapta-lo às exigências regulamentares actuais e desempenhar a função de comércio no piso térreo, e de habitação nos três pisos elevados e nas águas furtadas.

5.2 – Caracterização construtiva do edifício

O edifício objecto de estudo desta dissertação encontra-se assinalado na Planta de Duarte Fava, de 1807. De acordo com o estudo histórico realizado em fase de projecto, pensa-se que tenha sido construído entre 1789 e 1800, possivelmente sobre uma estrutura preexistente. Na fachada principal, virada para a Calçada do Marquês de Abrantes, encontra-se uma placa com a data de 1798.

Trata-se de um edifício de planta trapezoidal, com as quatro fachadas revestidas a azulejos. A fachada principal foi construída logo após o terramoto de 1755 e corresponde à Rua Calçada do Marquês de Abrantes. A fachada de tardoz corresponde à Rua do Merca Tudo, a fachada nascente corresponde ao Largo do Conde Barão, e por sua vez a fachada poente corresponde à Travessa dos Pescadores, fig. 5.2 e 5.3.

O edifício é composto por cinco pisos, existindo lojas ao nível térreo, e quatro andares com dois inquilinos por piso, direito e esquerdo.

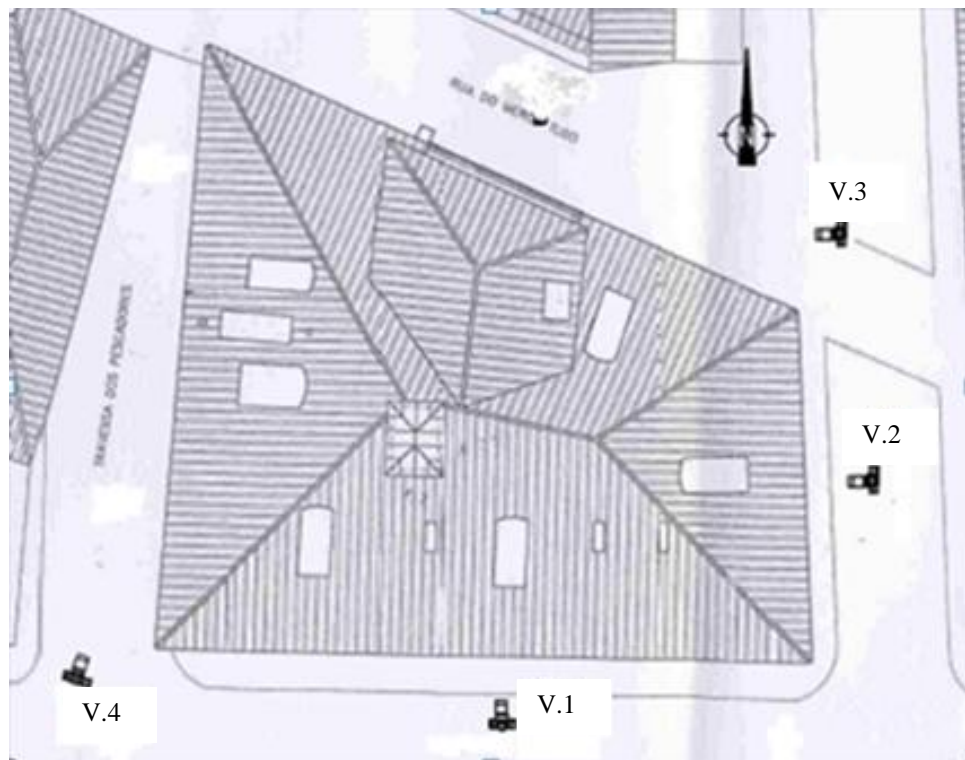


Fig. 5.2 – Planta da cobertura do edifício estudo de caso [77]



(a) – V.1: vista da Calçada do Marquês de Abrantes; (b) – V.2: vista do Largo Conde Barão; (c) – V.3: vista da Rua do Merca Tudo; (d) – V.4: vista da Travessa dos Pescadores

Fig. 5.3 – Vistas das ruas envolventes ao edifício estudo de caso [77]

A estrutura do edifício é constituída por alvenaria, madeira e o ferro para reforço e execução de algumas ligações. A alvenaria ordinária ou tradicional de melhor qualidade é o principal material constituinte das paredes exteriores, e existe também nas paredes do primeiro andar, no contorno das aberturas e nos cunhais. A alvenaria de pior qualidade é utilizada para o preenchimento das paredes de frontal, paredes estas que surgem dos arcos do piso térreo e que consistem em alinhamentos contínuos cujos elementos de madeira formam cruces de Santo André [77].

A madeira é um material bastante utilizado, nomeadamente a nível dos pavimentos, nos pisos superiores, para que não esteja em contacto com o solo, nem com os ciclos de humedificação e secagem. Trata-se do material constituinte da estrutura em gaiola, que permite o contraventamento vertical das paredes de fachada em alvenaria de pedra, as quais possuem uma massa elevada, logo, sujeitas a grandes acções sísmicas. O travamento horizontal é conseguido através dos pavimentos e da cobertura, fig. 5.4.



Fig. 5.4 – Estrutura em gaiola reconstruída e pavimento da cobertura do edifício

Neste edifício verifica-se também a existência de betonilhas e lajes de betão colocadas sobre os vigamentos de madeira, em zonas localizadas de casas de banho e cozinhas, o que origina deformações excessivas dos elementos de madeira.

A estrutura no piso térreo é constituída por arcos, pilares e paredes de alvenaria de pedra, que servem de suporte aos pisos elevados e ao tecto do r/chão. No tecto do piso térreo é onde se inicia a estrutura da gaiola pombalina. Verifica-se também, que no edifício nunca existiram abóbadas, o que provavelmente existia era um sistema de arcos, o qual sofreu alterações profundas tendo sido substituído pelo sistema pilar-viga em duas das lojas. Este tipo de intervenção enfraquece significativamente a resistência sísmica dos edifícios, uma vez que o travamento para as acções horizontais deixa de ser garantido devido à rigidez reduzida do sistema pilar-viga em relação aos arcos originais.

O projecto de arquitectura foi realizado de modo a reduzir as alterações estruturais, mantendo-se a localização e continuidade das paredes mestras. Ao nível das paredes secundárias, constituídas por paredes de frontal, caso o seu estado de conservação o permita, serão mantidas na medida do possível, garantindo a sua verticalidade e transmissão de esforços ao longo dos pisos. Relativamente às paredes de tabique apenas algumas serão mantidas, fig. 5.5.

Em relação aos pavimentos do tecto do piso térreo, piso 1, foi adoptada uma solução de laje mista aço-betão com cofragem metálica nervurada colaborante do tipo “Haircol 59S”, apoiada em perfis metálicos.

Esta solução, mais rígida, foi apenas prevista nas duas lajes onde foram detectadas alterações profundas. Nos restantes pavimentos, constituídos por vigas de madeira, foi prevista a respectiva inspecção e manutenção [77].

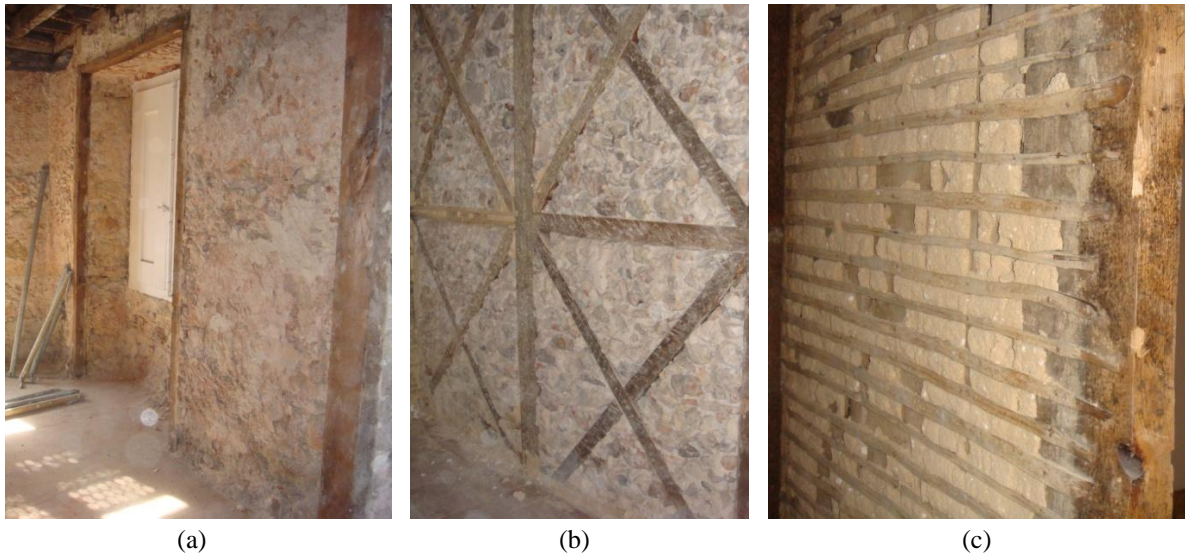


Fig. 5.5 – Tipologia das paredes do edifício

Foi prevista a criação de um núcleo de elevadores em betão armado, que terá a função de apoiar a nova estrutura dos pisos assim como de melhorar o desempenho global do edifício para as acções horizontais, fig. 5.6.



Fig. 5.6 – Núcleo de elevadores

A demolição da estrutura foi limitada ao estritamente necessário, quer por motivos de degradação, quer por motivos arquitectónicos, visando a alteração de alguns espaços no interior do edifício. Apenas a cobertura será reconstruída com uma estrutura metálica.

Em fase de projecto foi avaliada a continuidade dos alinhamentos de parede de suporte do pavimento, através de sobreposições das plantas dos pisos 0, 1 e 2, o que permitiu avaliar as zonas mais críticas, em que se encontrava interrompida a transmissão das cargas provenientes dos pavimentos para as fundações, fig. 5.7.



Em cima: piso 0 e piso 1; Em baixo: piso 1 e piso 2
Fig. 5.7 – Sobreposição das plantas dos pisos [77]

Após a observação da figura anteriormente apresentada detectaram-se três casos:

- Zona A
- Zona B
- Zona C

Zona A

Relativamente à zona identificada com A, em fase de projecto verificou-se que a parede de frontal não se encontrava alinhada com o arco. Posteriormente, em fase de obra, verificou-se que a parede de frontal estava alinhada com o arco, uma vez que estava apoiada nele, fig. 5.8.

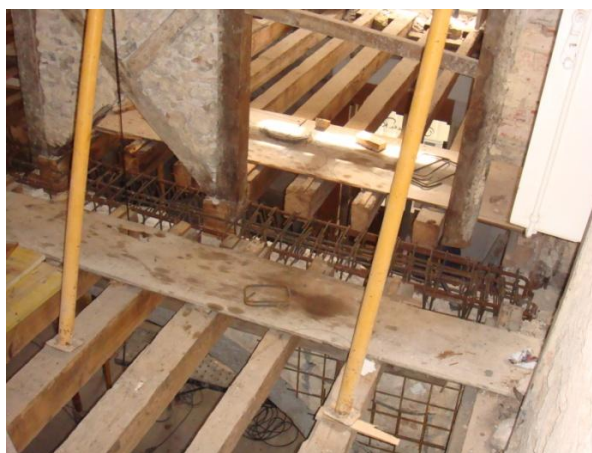


Fig. 5.8 – Parede de frontal alinhada com arco

Zona B

Nesta zona, em fase de projecto, verificou-se que não havia continuidade entre os alinhamentos interiores das paredes. Em fase de obra confirmaram-se as descontinuidades ao nível dos elementos verticais, que eram compostos maioritariamente por tabiques. Assim sendo, optou-se por desmontar os pavimentos e paredes, fig. 5.9.



Fig. 5.9 – Desmonte dos pavimentos e paredes

Zona C

Finalmente, na zona C verificou-se que as paredes de frontal não tinham qualquer continuidade para os pisos inferiores. Em fase de obra, foi detectada uma estrutura metálica ao nível do tecto do piso 0, fig. 5.10.



Fig. 5.10 – Estrutura metálica detectada no tecto do piso 0

5.3 – Estado de conservação do edifício

O edifício tem uma construção tipicamente pombalina e essas características estão ainda bem marcadas no desenho tipificado das fachadas, fortemente determinadas pelo rasgamento de janelas delimitadas por cantarias de palmo, de desenho simples, e pela estrutura interior da gaiola.

Como características dos elementos estruturais pode-se assinalar que os pavimentos existentes são constituídos por vigamentos de madeira com secções rectangulares compreendidas entre 0,09mx0,14m e 0,16mx0,20m, afastadas de 0,40m e que as paredes de frontal, são constituídas por prumos, diagonais e escoras com secções da ordem de 0,08mx0,08m [77].

De acordo com o diagnóstico feito pela empresa projectista em Julho de 2010, o edifício apresentava as seguintes anomalias:

- Fendilhação em paredes
- Degradação de elementos de madeira em paredes
- Descolamento e degradação dos revestimentos azulejares
- Desprendimento e desagregação em revestimentos interiores
- Caixilharia e guarnições dos vãos degradados

- Eflorescências em paredes e tectos
- Desprendimentos e desagregações em tectos
- Degradação de vigamentos de pavimentos
- Existência de betonilhas e lajes de betão em pavimentos
- Corrosão em elementos metálicos
- Outras anomalias

Nos pontos seguintes sintetiza-se cada uma destas anomalias.

Fendilhação em paredes

Após o diagnóstico realizado, constatou-se que a fendilhação existente teve como principais causas, fig. 5.11:

- assentamentos de paredes construídas em diferentes fases;
- criação de grandes rasgos para passagem de tubagens;
- remoção de troços interiores de paredes e/ou arcos.



Fig. 5.11 – Fendilhação detectada no edifício [77]

Degradação de elementos de madeira em paredes

A degradação de elementos de madeira em paredes mistas de alvenaria e madeira (paredes de frontal) e paredes de tabique estava associada a infiltrações, a partir dos pisos superiores, que provocaram a humedificação das paredes e consequente apodrecimento dos elementos de madeira, no caso dos alinhamentos de parede sob as casas de banho, cozinha e núcleo de escadas, fig. 5.12.

Outro factor bastante relevante é a eliminação de troços de viga para a passagem de canalizações e tubos eléctricos.



Fig. 5.12 – Degradação de elementos de madeira em paredes

Descolamento e degradação dos revestimentos azulejares

Os revestimentos azulejares que são parte relevante da solução arquitectónica deste edifício, quer ao nível das fachadas como a nível do interior, na zona das cozinhas, apresentavam diversas anomalias.

As anomalias mais relevantes detectadas foram o desaparecimento de alguns exemplares, a reposição incorrecta dos mesmos, passando por desprendimentos entre azulejos e as argamassas e pela degradação superficial de algumas peças.

A deterioração, por desagregação, da camada de base de colagem dos azulejos conduziu ao descolamento de amplas superfícies de painéis de azulejos, fig. 5.13.



Fig. 5.13 – Degradação dos azulejos

Desprendimento e desagregação em revestimentos interiores

Este fenómeno, de forma generalizada, ocorreu devido a infiltrações, eflorescências ou fendilhações, fig. 5.14.



Fig. 5.14 – Desagregação em revestimentos interiores

Caixilharia e guarnições dos vãos (alizares) degradados

Algumas caixilharias apresentavam-se extremamente degradadas, parcialmente apodrecidas, e com vidros partidos, por acção humana ou natural.

As guarnições dos vãos também se encontravam parcialmente apodrecidas, devido aos níveis elevados de humidade nessas zonas, fig. 5.15.



Fig. 5.15 – Caixilharia e guarnições dos vãos degradados

Eflorescências em paredes e tectos

É um fenómeno que foi consequência da existência de sais nas paredes, conjugada com a ocorrência de infiltrações, fazendo-os aflorar sob ou sobre os revestimentos, fig. 5.16.

Essas infiltrações deviam-se na maioria a um sistema de drenagem de águas pluviais deficiente, mau estado de conservação da rede de águas do edifício e ao mau estado das caixilharias.



Fig. 5.16 – Eflorescências em paredes e tectos

Desprendimentos e desagregações em tectos

Esta anomalia foi causada por infiltrações que degradaram o fasquiado, sob o qual estava aplicado o tecto e a fendilhações que, por descuido, não foram reparadas enquanto assumiam pequena expressão, o que originou a amplificação da anomalia, com, numa fase mais avançada, o posterior colapso dos revestimentos, fig. 5.17.



Fig. 5.17 – Desprendimento e desagregação em tectos

Degradação de vigamentos de pavimentos

A degradação de alguns vigamentos causada pelo sub-dimensionamento de algumas secções originais, associados à insuficiência de ligação às paredes de alvenaria, comprometeram o comportamento conjunto da estrutura, já que os pisos, deixando de funcionar como diafragma, reduzem a resistência global das paredes e a capacidade de redistribuição de cargas, no caso da ocorrência de um sismo.

Para as acções verticais o seu funcionamento também se encontrava comprometido, fig. 5.18



Fig. 5.18 – Degradação de vigamentos de pavimentos

Existência de betonilhas e lajes de betão em pavimentos

A colocação de betonilhas e lajes de betão, com um peso elevado, sobre os vigamentos existente, provocaram a degradação e deformação excessiva dos pavimentos e um aumento significativo das cargas permanentes, o que condiciona a resposta do edifício também para as acções horizontais.

As situações mais graves verificaram-se ao nível das cozinhas e casas de banho, associadas também à presença de água.

No entanto, verificaram-se outras zonas do edifício onde foi possível observar a colocação de vários níveis de soalho. Esta solução é muitas vezes adoptada como forma de absorver as deformações que estes foram sofrendo ao longo dos tempos, o que pode indiciar insuficiências das estruturas originais, fig. 5.19.



Fig. 5.19 – Existência de betonilhas e vários níveis de soalho nos pavimentos

Algumas vigas também apresentavam sinais de ataques de insectos e de fungos de podridão. Em alguns casos, este fenómeno estava associado à degradação das caixilharias, uma vez que quando estas deixam de assegurar a estanquidade, o pavimento de madeira adjacente à abertura fica propício à proliferação de fungos, sendo evidenciado esse fenómeno através do apodrecimento das tábuas de soalho.

Corrosão em elementos metálicos

Esta anomalia estava bastante visível em elementos estruturais e decorativos, tais como, perfis metálicos de apoio de vigamentos de madeira ao nível do piso 1, guardas metálicas e ainda em ferragens, fig. 5.20.



Fig. 5.20 – Corrosão em elementos metálicos

Outras anomalias

Através das plantas verificou-se que o edifício, ao nível do piso térreo, já tinha sofrido algumas alterações que modificaram a sua organização estrutural, da qual se tornou difícil reconhecer os traços dominantes.

A este nível, verificou-se que os alinhamentos estruturais de arcos foram, na generalidade, removidos e substituídos por vigas metálicas, o que punha em causa a segurança do edifício para as acções sísmicas.

Em síntese, pode dizer-se que a funcionalidade do edifício estava fragilizada e carecia de uma intervenção, no entanto, foi possível manter grande parte da estrutura existente, pavimentos e paredes de frontal. Assim sendo, a estrutura existente não necessita de uma estrutura de contenção de fachada, uma vez que os pavimentos existentes irão contraventar de forma eficaz a estrutura de alvenaria durante a execução da obra.

No entanto, todas as operações de demolição ou substituição de elementos estruturais foram efectuadas tendo em conta os seguintes cuidados:

- A demolição de qualquer elemento deve ser precedida do seu registo fotográfico, sempre que possível com identificação do elemento e das suas dimensões.
- A demolição será feita, recorrendo-se a ferramentas eléctricas, sendo o uso de equipamento a ar comprimido totalmente interdito, a menos que seja explicitamente autorizado pela fiscalização.
- Os produtos de demolição cuja reutilização se preveja, como é o caso de telhas e de alguns elementos da estrutura e de caixilharia, serão identificados e armazenados na obra, em local escolhido para o efeito.
- Todas as operações de demolição ou substituição de elementos estruturais serão efectuadas de acordo com as verificações de segurança estrutural, soluções construtivas para a execução de aberturas nas paredes estruturais (de alvenaria e de frontal), e para o entaipamento de outras aberturas de acordo com o apresentado no projecto de arquitectura [77].

5.4 – Técnicas de reabilitação adoptadas no edifício

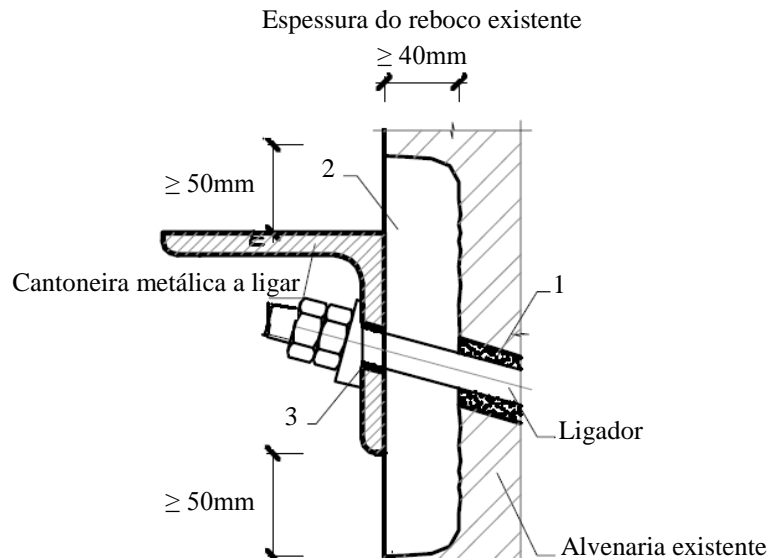
Face às anomalias existentes no edifício, referidas na secção anterior, a empresa projectista propôs um conjunto de técnicas de reabilitação [77], porém no contexto do tema da presente dissertação, apresenta-se em seguida apenas as soluções adoptadas com vista à resolução das anomalias relacionadas com a fendilhação e reforço de ligação entre paredes (referidas na secção 5.3, no ponto de fendilhação em paredes).

Assim sendo, apresenta-se a solução de reabilitação adoptada para a fendilhação devida a:

- Comportamento diferencial entre os panos de parede perpendiculares
- Criação de grandes rasgos para passagem de tubagens
- Remoção de troços interiores de paredes e/ou arcos

Fendilhação causada por comportamento diferencial entre os panos de parede perpendiculares

Como solução para esta anomalia, as ligações entre paredes perpendiculares foi criada ou reforçada tendo-se adoptado ancoragens nos cunhais e tirantes metálicos ao nível dos pisos, cintados através da colocação de cantoneiras metálicas, fig. 5.21.



1 – zona de reboco a remover, deixando as pedras expostas, com reconstrução posterior; 2 – furos e selagem dos varões, injectados com “grout” sob pressão; 3 – preenchimento de folga existente entre furos nos elementos metálicos com resina epoxy

Fig. 5.21 – Cantoneira metálica (corte vertical) [77]

Relativamente às paredes, a solução foi fazer a ligação das paredes de frontal às paredes de alvenaria de pedra, através de chumbadores, fig. 5.22.

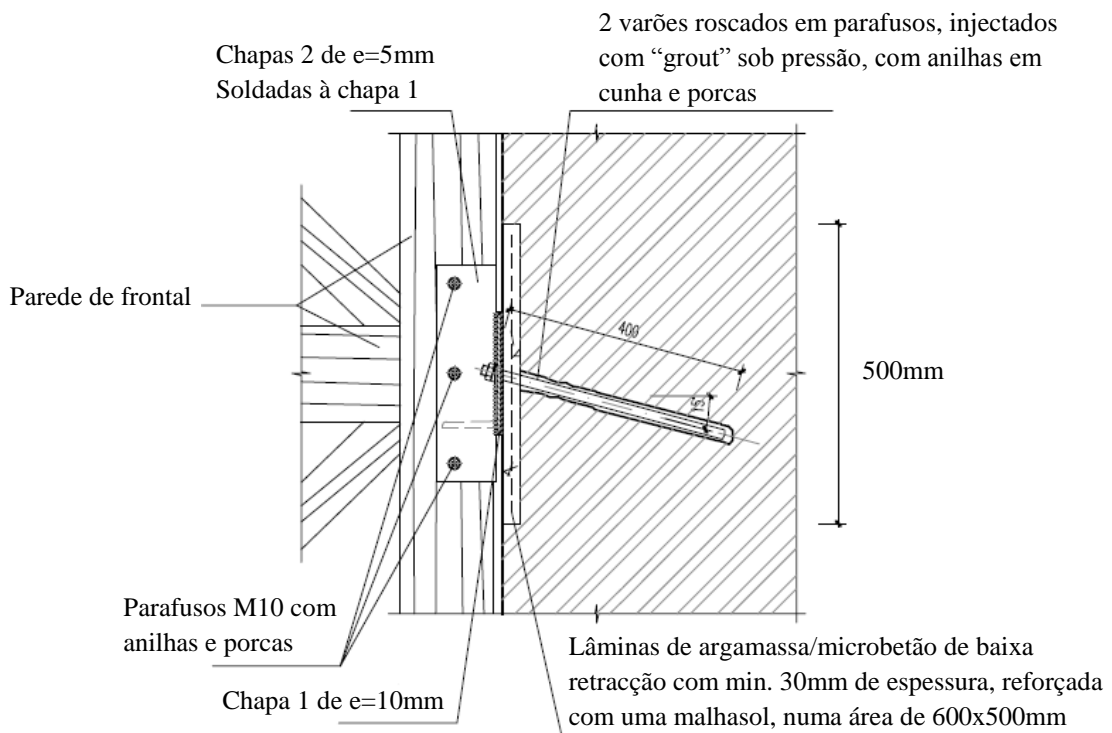


Fig. 5.22 – Ligação das paredes de frontal às paredes de alvenaria (corte vertical) [77]

Fendilhação em paredes causada por criação de grandes rasgos para passagem de tubagens

A solução de intervenção adoptada para a resolução desta anomalia foi a reconstrução dos troços de alvenaria danificados e a construção de uma rede de abastecimento e drenagem de águas nova.

Para a execução da solução apresentada, os trabalhos incluíram a reconstrução de troços de paredes de alvenaria e de paredes de frontal, fig. 5.23, seguindo-se a instalação de tubagens em coretes técnicas novas.

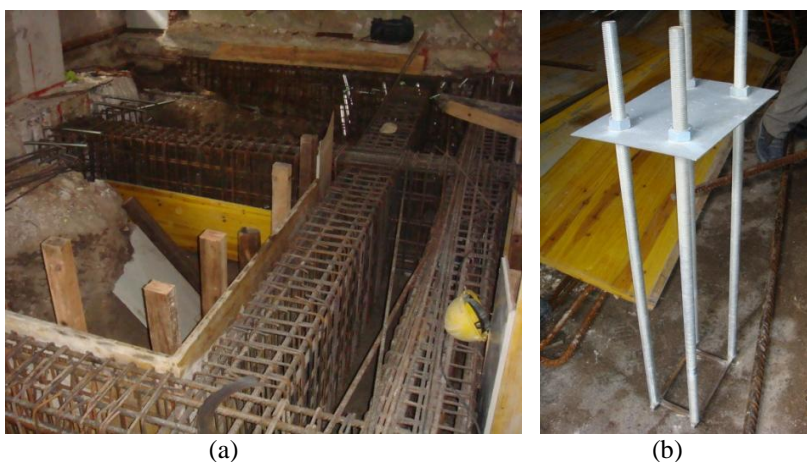


Fig. 5.23 – Reconstrução de parede de frontal

Fendilhação em paredes causada por remoção de troços interiores e/ou arcos

A fendilhação estrutural associada a remoção de troços de paredes e arcos foi solucionada através do restabelecimento das continuidades, prevendo o reforço das estruturas existentes, com elementos metálicos e pela reposição dos alinhamentos das paredes de frontal.

Relativamente às lojas, na zona do banco manteve-se as estruturas ao nível do piso térreo e fez-se o reforço complementado com novas estruturas metálicas, fig. 5.24.

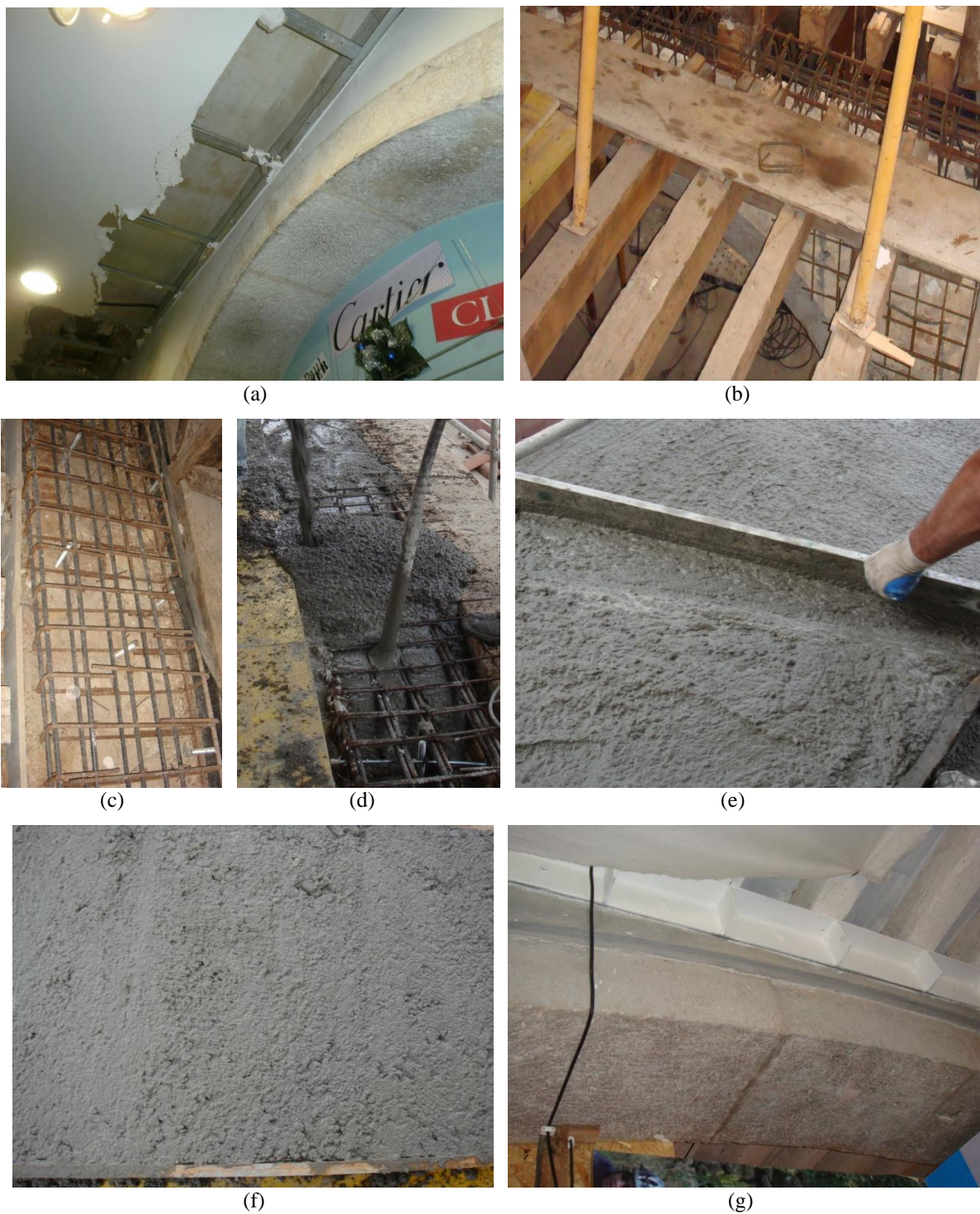


(a) – reforço com lintéis de fundação criados sobre as fundações existentes; (b) – reforço através de ferrolhos de ligação e chapa de posicionamento

Fig. 5.24 – Reforço com estruturas metálicas no piso térreo

Na zona do restaurante, optou-se por desmontar as estruturas interiores e refazê-las, tirando apenas partido das paredes de fachada.

Na zona da perfumaria, dada a existência de dois arcos, fez-se o seu reforço através de uma viga em betão, fig. 5.25, e a aplicação de rebocos armados nas faces laterais.



(a) – arco antes do reforço; (b) a (f) – execução do reforço do arco; (g) – arco após reforço


Fig. 5.25 – Execução da viga de betão para reforço do arco

CAPÍTULO 6

POSSIBILIDADES DE COMBINAÇÃO DE TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO

6.1 – Considerações gerais

No início do presente trabalho foi fornecido um dossier com o projecto do edifício estudo de caso [77], de cuja análise se retiraram as soluções apresentadas pela empresa A2P para a reabilitação estrutural do edifício. Neste contexto, esta informação é apresentada em resumo nas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3.

Ao longo deste trabalho, particularmente no capítulo 4, fez-se uma síntese das principais técnicas de reabilitação de fundações, paredes e pavimentos de edifícios antigos e, aproveitando os conceitos descritos, nas mesmas tabelas acima referidas são apresentadas possibilidades de soluções alternativas às apresentadas pela empresa A2P (assinaladas com a imagem ).

Contudo, nas tabelas apresentadas são referidas as combinações mais lógicas no contexto do presente trabalho. Em função de cada caso concreto, podem ser adoptadas outras combinações igualmente possíveis não assinaladas nas tabelas.

Note-se, no entanto, que as técnicas de reabilitação alternativas referidas não têm em conta o factor custo/benefício, sendo a correlação entre estas analisada apenas numa perspectiva técnica.


6.2 – Combinações de técnicas de reabilitação de fundações

Depois da descrição e análise das principais técnicas de reabilitação de fundações, apresenta-se na tabela 6.1 uma possível proposta de combinações entre as várias técnicas descritas, face à solução adoptada pela empresa projectista.


Esta proposta de combinações é feita no pressuposto de que, em muitos casos, o quadro de anomalias existentes justifica a aplicação de soluções de reforço que se complementam, quer ao nível das fundações, quer ao nível de outros elementos estruturais dos edifícios (paredes, pavimentos, etc.).

Tabela 6.1 – Combinação entre técnicas de reabilitação de fundações

Técnicas de Reabilitação	RF1	RF2	RF3	RF4	RF5
RF1					
RF2	x				
RF3		x			
RF4		x			
RF5					

RF1: injeção no terreno de fundação; RF2: injeção na alvenaria da fundação; RF3: alargamento da base da fundação; RF4: reforço da fundação com estacas e microestacas; RF5: apoio das estruturas novas tirando partido das fundações existentes; : técnica adoptada pela empresa projectista A2P.

Faz-se de seguida uma breve explicação da interpretação da tabela 6.1, que servirá também como referência de leitura para as tabelas 6.2 e 6.3:

- As combinações de técnicas mais usuais são assinaladas na tabela com o símbolo “x”.
- As células da tabela preenchidas a branco representam as técnicas, que no geral, não são combinadas.
- As células preenchidas a cinzento servem para não haver repetição de combinação de técnicas, dado a tabela ser simétrica.
- A técnica adoptada pela empresa projectista é representada com o nome da empresa, “”, e neste caso encontra-se na diagonal da tabela o que significa que esta não foi combinada com outra técnica.
- A leitura da tabela pode ser feita em linha ou em coluna.




Por exemplo, a injeção na alvenaria da fundação (RF2) pode ser combinada com a injeção no terreno da fundação (RF1). Por outro lado, a injeção na alvenaria da fundação (RF2) pode ser combinada com o alargamento da base da fundação (RF3), assim como com o reforço da fundação com estacas e microestacas (RF4).

Na obra estudo de caso, para as fundações, a empresa projectista adoptou como solução o apoio das estruturas novas tirando partido das fundações existentes (RF5).


6.3 – Combinações de técnicas de reabilitação de paredes de alvenaria de pedra

No seguimento da secção anterior, apresenta-se na tabela 6.2 uma proposta de combinações de técnicas de reabilitação de paredes de alvenaria de pedra.

Tabela 6.2 – Combinação entre técnicas de reabilitação de paredes de alvenaria de pedra

Técnicas de Reabilitação	RPr1	RPr2	RPr3	RPr4	RPr5	RPr6	RPr7	RPr8	RPr9
RPr1									
RPr2									
RPr3									
RPr4		x	x						
RPr5		x		x					
RPr6	x	x	x	x	x				
RPr7	x	x	x	x	x	x			
RPr8							x		
RPr9		x		x	x				

RPr1: desmonte e reconstrução de partes do edifício; RPr2: refechamento das juntas; RPr3: confinamento transversal de alvenaria; RPr4: rebocos armados; RPr5: injeção de caldas; RPr6: ligação entre paredes de fachadas paralelas; RPr7: cinta sísmica; RPr8: encamisamento; RPr9: sistemas porticados em betão armado;

 : técnica adoptada pela empresa projectista A2P.

As combinações de técnicas de reabilitação de paredes de alvenaria de pedra propostas na tabela anterior são as que, de acordo com a bibliografia consultada, cobrem o maior número de casos possíveis.

Tal como no caso referido anteriormente, são também indicadas na mesma tabela as soluções propostas pela empresa A2P para o edifício acompanhado.

Exemplo de aplicação:

A cinta sísmica (RPr7) pode ser combinada com qualquer uma das outras técnicas de reabilitação (RPr1, RPr2, RPr3, RPr4, RPr5, RPr6 e/ou RPr8), à excepção da combinação com sistemas porticados em betão armado (RPr9). Por outro lado, o desmonte e reconstrução de partes do edifício (RPr1) pode ser combinado com a ligação entre paredes de fachadas paralelas (RPr6), com a cinta sísmica (RPr7) e/ou com o reboco armado (RPr4).






No edifício objecto de estudo, para as paredes de alvenaria de pedra, a empresa projectista adoptou as seguintes combinações de técnicas de reabilitação:


- Desmonte e reconstrução de partes do edifício (RPr1) com rebocos armados (RPr4)
- Confinamento transversal de alvenaria (RPr3) com injeção de caldas (RPr5)
- Ligação entre paredes de fachadas paralelas (RPr6)

6.4 – Combinações de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira

Na tabela 6.3 apresentam-se diversas combinações possíveis de técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira, incluindo as soluções propostas pela empresa projectista.

Tabela 6.3 – Combinação entre técnicas de reabilitação de pavimentos de madeira

Técnicas de Reabilitação	RPv1	RPv2	RPv3	RPv4	RPv5
RPv1					
RPv2					
RPv3	x	x			
RPv4	x		x		
RPv5	x	x	x	x	

RPv1: adicionar novas vigas; RPv2: manutenção do vigamento existente mas reforçando-o através da ligação de elementos adicionais; RPv3: reparação, substituição parcial ou reconstrução de troços de vigas; RPv4: ligação pavimento-parede através de ferrolhos ou chapas de aço; RPv5: aumento da rigidez dos pavimentos no seu plano; : técnica adoptada pela empresa projectista A2P

Exemplo de aplicação:

O aumento da rigidez dos pavimentos no seu plano (RPv5) pode ser combinado com qualquer uma das outras técnicas apresentadas (RPv1, RPv2, RPv3 e/ou RPv4). Por outro lado, a manutenção do vigamento existente com reforço através da ligação de elementos adicionais (RPv2) pode ser combinada com a reparação, substituição parcial ou reconstrução de troços de vigas (RPv3) e/ou com o aumento da rigidez dos pavimentos no seu plano (RPv5).

No caso do edifício objecto de estudo, para os pavimentos, a empresa projectista adoptou as seguintes técnicas de reabilitação:

- Adição de novas vigas (RPv1)
- Manutenção do vigamento existente com reforço através da ligação de elementos adicionais (RPv2)
- Reparação, substituição parcial ou reconstrução de troços de viga (RPv3)
- Ligação pavimento-parede através de ferrolhos ou chapas de aço (RPv4)
- Aumento da rigidez dos pavimentos no seu plano (RPv5)

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

7.1 – Considerações Gerais

Nesta dissertação foram abordados conceitos de índole construtiva de edifícios antigos, dando destaque ao período histórico da construção Pombalina, às principais anomalias estruturais, respectivos métodos de inspecção, diagnóstico e técnicas de reabilitação.

Foi estudado um edifício, fez-se uma caracterização histórica e uma descrição da solução construtiva, para melhor perceber esta tipologia e algumas das técnicas de reabilitação propostas pela empresa A2P Consult, Estudos e Projectos Lda. O edifício analisado pertence a um dos núcleos nacionais desta tipologia construtiva, localizando-se na zona ribeirinha de Lisboa (Calçada Marquês de Abrantes).

Na parte final do estudo do edifício acompanhado, foi ainda feita uma análise crítica das soluções de reforço estrutural adoptadas pela empresa projectista, face a outras alternativas igualmente possíveis.

A análise das soluções adoptadas foi realizada em forma de tabelas, onde se apresentam várias combinações de técnicas de reabilitação, em fundações, paredes e pavimentos, mais lógicas.

Neste capítulo são apresentados comentários finais relativos ao desenvolvimento deste trabalho, um resumo das principais conclusões obtidas, comparando os objectivos inicialmente propostos com o trabalho alcançado, e termina com algumas alusões para possíveis expansões futuras.

7.2 – Objectivos propostos e trabalho alcançado

O trabalho realizado permite concluir que a generalidade dos objectivos propostos foi alcançada.

Com efeito, foi possível realizar uma pesquisa bibliográfica com a qual se aprofundou os conhecimentos sobre os edifícios antigos de alvenaria de pedra, as suas principais anomalias,

respectivas técnicas de reabilitação e métodos de inspecção de diagnósticos para resolução das mesmas.

Para realizar o objectivo pretendido da vertente prática deste trabalho, o acompanhamento em obra de um edifício pombalino foi importante para o alcançar.

7.3 – Comentários finais e conclusões

A construção civil é uma actividade muito antiga e que atingiu um grande nível de evolução. O trabalho desenvolvido foi muito interessante e permitiu interligar conhecimentos teóricos com a sua aplicação num caso prático, sendo por isso de grande aprendizagem.

O acompanhamento da obra do edifício estudo de caso foi uma mais valia para a finalização do curso, proporcionando uma melhor capacidade de compreensão de conceitos teóricos, noção do ambiente e do dia-a-dia em obra, visualização no terreno da execução dos trabalhos e ainda uma aprendizagem teórico-prática mais aprofundada.

As técnicas de reabilitação utilizadas no edifício objecto de estudo desta dissertação, responderam às anomalias à priori diagnosticadas. Contudo, o trabalho realizado permite concluir que a aplicação de outras técnicas de reabilitação, desde que devidamente justificadas, também poderiam ter sido possíveis.

Salienta-se ainda que, dado o título da presente dissertação, o aspecto de fendilhação é transversal em todo o trabalho. Sendo que, todas as soluções apresentadas têm no seu limite a resolução do principal objectivo, ou seja, reabilitar edifícios antigos fendilhados e evitar as causas de fendilhação.

7.4 – Desenvolvimentos Futuros

No que diz respeito à continuação deste trabalho, propõe-se a realização de um estudo estrutural ao nível da modelação numérica.

Para este desenvolvimento futuro, seria interessante fazer a modelação geral do edifício estudo de caso, ou de alguns elementos estruturais (como por exemplo, das diversas tipologias das paredes, arcos, etc.).

Nesta modelação deveriam ser comparadas diversas técnicas de reabilitação, observando-se as suas implicações e respectivos custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] APPLETON, J. – Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e Tecnologias de Intervenção. Edições Orion, 2003.
- [2] APPLETON, J. – Projectos de Reabilitação de Edifícios Pombalinos. Lisboa, 2008.
- [3] APPLETON, J. - Tipificação do parque construído, Cap. 9 do Livro Sismos e Edifícios, Edições Orion, 2008.
- [4] APPLETON, J.; DOMINGOS, I. - Biografia de um Pombalino – Um caso de reabilitação na Baixa de Lisboa. Edições Orion, Amadora, 2009.
- [5] ARÊDE, A.; COSTA, A. – Inspeção e Diagnóstico Estrutural de Construções Históricas. Seminário "A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação", FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2002.
- [6] ARRIAGA, F. - Intervencion en estructuras de madera, AITIM, Madrid, 2002
- [7] AZEREDO, H. – “O Edifício até à sua Cobertura”: São Paulo. Ed. Edgar Blucher Ltda. 1977.
- [8] BAIÃO, M.; APPLETON, J. (1994) - Pavimentos de madeira de edifícios antigos. Constituição, patologia e reabilitação. Comunicação ao 2º ENCORE. Lisboa, LNEC.

[9] BINDA, L.; SAISI, A. – Non Destructive Testing Applied to Historic Buildings: The Case of some Sicilian Churches. Historical Constructions 2001, Guimarães, 2001.

[10] BINDA, L.; SAISI, A. - State of the Art of Research on Historic Structures in Italy. Dept. of Structural Engineering, Politécnico of Milan, Italy, 2001.

[11] BINDA, L.; ANZANI, A.; SAISI, A. – Preservation of the Historic Structures: Investigation and Diagnosis as Essential Steps for Compatible Choices. ICPCM – International Conference on Performance of Construction Materials - A New Era of Building, Cairo, Egypt, 2003.

[12] BRANCO, J. et Al. – Asnas de madeira – a importância da rigidez das ligações. 4as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, págs. 1-2, LNEC, Lisboa, 2006.

[13] CARDOSO, R.; LOPES, M.; BENTO, R. – Avaliação Sísmica de Edifícios Antigos de Alvenaria.

[14] CAROCCI, C. - “Guidelines for the safety and preservation of historical centres in seismic areas”. Historical Constructions 2001: Possibilities of numerical and 16 experimental techniques. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 7-8-9 Novembro 2001 pp.145-165.

[15] COELHO, S. - Tecnologia de Fundações. Edições EPGE - Escola Profissional Gustave Eiffel, 1ª Edição, Setembro, 1996.

[16] CÓIAS, V. – Reabilitação “amiga do património”. O novo desafio à criatividade. Workshop – O habitat do futuro inserido no património construído: desafios e oportunidades para o sector da reabilitação. InovaDomus – Projecto casa do futuro. Aveiro Domus, 2006.

[17] CÓIAS, V. – Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios. IST Press, Lisboa, 2006.

[18] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN) – Methods of Test for Mortar for Masonry - Part 12: Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates. EN 1015 – 12, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2000.

- [19] CROCI, G. – General methodology for the structural restoration of historic buildings: the cases of the Tower of Pisa and the Basilica of Assisi. *Journal of cultural heritage* 1,7 – 18, 2000.
- [20] DIAS, T. – Pavimentos de madeira em edifícios antigos – Diagnóstico e intervenção estrutural. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008.
- [21] ESTÉVEZ, D. – Experimental and Numerical Analysis of Stone Masonry Walls Strengthened with Advanced Composite Materials. Universidad Del País Basco, Bilbao, Spain, 2009.
- [22] FARIA, P. – Tecnologias/Processos de Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
- [23] FERNANDES, F.; LOURENÇO, P.; ZANZI, L. – Avaliação da Constituição de elementos Estruturais através do Radar de Prospecção Geotécnica. *Engenharia e Vida*, nº 28, p. 38-44, 2006.
- [24] FERNANDES, F.; LOURENÇO, P. – Aplicações do georadar na reabilitação e detecção de anomalias. Congresso Construção 2007 – 3º Congresso Nacional, Coimbra, 2007.
- [25] FLORES – COLEN, I.; BRITO, J.; BRANCO, F. – Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento. APFAC - 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa 2007.
- [26] FRANÇA, J. – Lisboa Pombalina e o Iluminismo, 3ª Edição, Lisboa: Bertrand Editora, 1987.
- [27] GREGORCZYK, P.; LOURENÇO, P. – A Review on Flat-Jack Testing. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, 2000.
- [28] HENRIQUES, F. – Humidade em Paredes – 4ª Edição. Coleção Edifícios. Nº1. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2007.
- [29] ICOMOS - Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage. Paris, Setembro, 2001.

- [30] ISABEL, D.; APPLETON, J. – Biografia de um Pombalino. Um caso de reabilitação na Baixa de Lisboa. Lisboa, 2009.
- [31] IPQ – Eurocódigo 6. Projecto de Estruturas de Alvenaria. Parte 1.1: Regras Gerais e Regras para Edifícios. NP EN 1996-1. IPQ, Lisboa, 2000.
- [32] MAIERHOFER, C.; ROELLIG, M. – Active Thermography for the Characterization of Surfaces and Interfaces of Historic Masonry Structures. NDTCE 09 – Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Nantes, France, 2009.
- [33] MASCARENHAS, J. – Sistemas de Construção II, III e V. Editora Horizonte.
- [34] MATEUS, J. – Reabilitação Urbana. Baixa Pombalina: bases para uma intervenção de salvaguarda. Câmara Municipal de Lisboa. Junho de 2005.
- [35] MELI, R. - “Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos”. Fundación ICA, México, 1998.
- [36] MEOLA, C. – Infrared Thermography of Masonry Structures. Infrared Physics & Technology, Volume 49, pp. 228-233, Napoli, Italy, 2007.
- [37] MIRANDA, F. – Caracterização dos edifícios pombalinos da baixa de lisboa. Dissertação de mestrado integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
- [38] MOREIRA, M. - Reabilitação de estruturas de madeira em edifícios antigos – Caso de estudo. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. FEUP, Porto, 2009.
- [39] NEVES, M. - Técnicas de Recalçamento e Reforço de Fundações. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.
- [40] PIAZZA, M.; BALDERASSI, C.; TOMASI, R. – The role of in-plane floor stiffness in the seismic behaviour of traditional buildings. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, 2008.

- [41] PINHEIRO, D.; LOPES, L.; AGUIAR, J. – Descolagem de um Revestimento Cerâmico em Fachada. PATORREB 2006 – Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.
- [42] PINHO, F. – Paredes de Edifícios Antigos em Portugal. Coleção Edifícios. Nº 8. LNEC, Lisboa, 2000.
- [43] PINHO, F. – Soluções Construtivas de Paredes de Edifícios Antigos em Portugal. REPAR 2000 – Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas. LNEC, Lisboa, 2000.
- [44] PINHO, F. – Construções em Alvenaria de Pedra Tradicional - Principais Anomalias e Técnicas de Reabilitação. Publicação UNIC/UNL, 2003.
- [45] PINHO, F. – Paredes de Alvenaria Ordinária – Estudo Experimental com modelos Simples e Reforçados. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2007.
- [46] PINHO, F.; BAIÃO, M.; LÚCIO, V. – Técnicas de consolidação de paredes de edifícios antigos. Materiais e técnicas de reabilitação. 3º ENCORE, LNEC, Lisboa, 2003.
- [47] PINHO, F.; LÚCIO, V.; RODRIGUES, C.; RAMOS, A.; FARIA, P.; BAIÃO, M.; LOURENÇO, P.; VARUM, H.; NUNES, A.; MOURA, L. – Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- [48] PORTO, F.; VALLUZZI, M.; MODENA, C. – Use of Sonic Tomography for the Diagnosis and the Control of Intervention in Historic Masonry Buildings. International Symposium – Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003, Berlin, Germany, 2003.
- [49] RAMOS, L.; LOURENÇO, P. – Análise das Técnicas de Construção Pombalina e Apreciação do Estado de Conservação Estrutural do Martinho da Arcada. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, 2000.

[50] RATO, V. – Conservação do património histórico edificado – Princípios de intervenção. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Construção. Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico, Julho 2002.

[51] RODRIGUES, J. – Principais técnicas de consolidação e reforço de paredes de edifícios antigos. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

[52] ROQUE, J. – Reabilitação estrutural de paredes de alvenaria antiga. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2002.

[53] SAISI, A.; VALLE, S.; ZANZI, L.; BINDA, L. – Radar and Sonic as Complementary and/or Alternative Tests in the Survey of Structures. UNESCO ICOMOS Congress: More than Two Thousand Years in the History of Architecture Safeguarding the Structure of our Architectural Heritage, Paris, France, 2001.

[54] SEGURADO, J. - Trabalhos de carpintaria civil - Biblioteca de Instrução Profissional. Livraria Bertrand, Lisboa, 1942.

[55] SOUSA, C. – Os sismos e acções de reabilitação nos Açores. Seminário: reabilitação de estruturas de alvenaria de pedra. Ordem dos Engenheiros. Março, 2009.

[56] VALÉRIO, F. - Caracterização de edifícios antigos. Edifícios pombalinos. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

[57] VALLUZI, M.; PORTO, F.; MODENA, C. – Structural Investigations and Strengthening of the Civic Tower in Vincenza. 10th International Conference Structural Faults + Repair, London, United Kingdom, 2003.

[58] VALLUZZI, M.; MODENA, C. - Mechanical Behaviour of Masonry Structures Strengthened with Different Improvement Techniques. Chapter 3.2. Fracture and Failure of Natural Building Stones. Ed. Springer, 2005.

[59] VALLUZZI, M.; MAZZON, N.; MUNARI, M.; CASARIN, F.; MODENA, C. – Effectiveness of injections evaluated by sonic tests on reduced scale multi-leaf masonry building subjected to seismic actions. NDTCE'09 – Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Nantes, France, 2009.

Websites

[60] <http://maps.google.pt/>, em Fevereiro de 2012

[61] <http://www.google.pt/search?q=terramoto+de+1755+imagens&hl=ptPT&prmd=imvns&tbn=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=W6GET6uFOoaq0QXImt26Bw&ved=0CDIQsAQ&biw=1707&bih=857>, em Março de 2012

[62] www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20025.pdf, Agosto de 2012

[63] www.flir.com

[64] <http://5cidade.files.wordpress.com/2008/04/humidimetros-electricos-ou-carbide.pdf>, Agosto de 2012

[65] <http://www.ndt.net/apcndt2001/papers/1110/1110.htm>

[66] www.novatest.it

[67] <http://capelasantanna.blogspot.pt/2008/05/refechamento-de-juntas.html>, Agosto de 2012

[68] <http://www.onsiteformasonry.bam.de/results.html>

[69] <http://pt.scribd.com/doc/46461250/Paredes-Antigas-de-Alvenaria>, Agosto de 2012

[70] <http://www.woermann-angola.com>

[71] <http://www.wolframalpha.com>

[72] <http://monikaferreira.blogspot.pt/2008/05/escadas-de-tiro.html>, Outubro de 2012

[73] <http://inconcreto.blogspot.pt/2010/01/trinta-anos-de-uma-tragedia-sismo-de.html>, Outubro de 2012

[74] <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAmmEAI/apostila-fundacoes>

[75] <http://www.sondagemdesolo.com/o-que-e-sondagem-spt-standard-penetration-test>

[76] <http://pt.scribd.com/doc/54602393/Ensaio-SPT-Uma-aplicacao>

Outros

[77] A2P Consult, Estudos e Projectos Lda. – Projecto de reabilitação do edifício estudo de caso.

[78] M. M. Trabalhos de engenharia civil Lda. - Arquivo de trabalhos de reforço e recuperação de edifícios de alvenaria da Ilha do Faial. Horta, Açores 2005.